ALTGELD HALL ANNEX

21.33
1965

Engineering Library

Mitteilungen

der

Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb.

Unter Redaktion von

Professor Dr. W. WYSSLING,

Generalsekretär der Studienkommission.

Nr. 4.

Die Systemfrage und die Kostenfrage für den hydro-elektrischen Betrieb der schweizerischen Eisenbahnen.

Die Systemfrage. — Die Kostenfrage auf Grund der Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und des Bundesbahnkreises II. — Die Befriedigung des Kraftbedarfs für den hydro-elektrischen Betrieb aller Schweizerbahnen.

Nach den Arbeiten verschiedener Mitarbeiter und Kommissionsmitglieder zusammengestellt, unter Mitwirkung von Prof. Dr. **W. Kummer**, von Prof. Dr. **W. Wyssling**.

Preis Fr. 2.—

In Kommission bei
RASCHER & Cie., Meyer & Zellers Nachfolger
Zürich und Leipzig.
1912.

Mitteilungen der Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb.

Unter Redaktion von Prof. Dr. *Wyssling*, Generalsekretär der Studienkommission.

Nr. 4.

Die Systemfrage und die Kostenfrage für den hydroelektrischen Betrieb der schweizerischen Eisenbahnen.

Nach den Arbeiten verschiedener Mitarbeiter und Kommissionsmitglieder zusammengestellt, unter Mitwirkung von Prof. Dr. *W. Kummer*, von Prof. Dr. *W. Wyssling*.

Einleitung.

Schon die erste „Mitteilung" der Studienkommission[1]) erwähnte, dass die Elektrifizierung der Schweizer Eisenbahnen nicht in erster Linie wegen der technischen Vorzüge der elektrischen Traktion, sondern vor allem wegen der dadurch ermöglichten Verwertung der einheimischen Wasserkräfte an Stelle der eingeführten Kohle eine für die Schweiz bedeutsame Angelegenheit sei. Daher war die Aufgabe, welche sich die Studienkommission gestellt hatte, „die technischen und finanziellen Grundlagen für Einführung des elektrischen Betriebs auf den Schweiz. Eisenbahnen zu studieren und abzuklären"[2]), eine sehr komplexe und deshalb handelte es sich neben der Untersuchung des technischen Genügens der elektrischen Traktion überhaupt

[1]) Mitteilungen der Schweiz. Studienkommission f. elektr. Bahnbetrieb, Nr. 1: Der Kraftbedarf etc. Zürich, Rascher & Co., 1906.

[2]) Memorial betr. die Gründung eines Schweiz. Studienkomitees etc., Juli 1902.

und der Systemfrage im besondern, um die Aufstellung genauer Betriebsprojekte zur Beantwortung der Frage nach den Kosten und der Kraftbeschaffung. Die zukünftige elektrische Traktion musste sich nicht bloss als technisch gut, sondern auch als wirtschaftlich, womöglich als mindestens so billig wie die bisherige Dampftraktion erweisen. Hierüber musste man sich, ausser durch die *Resultate bisheriger elektrischer Betriebe,* die zumeist kleinere Bahnen betrafen, ergänzend durch sorgfältige *Ausführungsprojekte* an bedeutenden, konkreten Fällen vergewissern; dazu genügte die *technisch-theoretische Erörterung der Systemfrage,* die rascher zu erledigen war, nicht. Gerade in diesen Studienjahren hat sich übrigens die Systemfrage durch die erfolgte Entwicklung der Technik derart abgeklärt, dass heute mit viel grösserer Sicherheit geurteilt werden kann, als dies anfänglich hätte geschehen können. Die Aufstellung *vergleichender Projekte mit Betriebs-Kostenvoranschlägen* für die verschiedenen Systeme, die sich in den Grenzen ihrer Möglichkeiten inzwischen ziemlich genau umschrieben hatten, ergab, in sorgfältiger Weise vorgenommen, im Verein mit dem rein technischen Systemvergleich sichere Grundlagen für den Entscheid über das den *Ausführungsprojekten* zugrunde zu legende System. Für die letztern ergab die Vertiefung des Studiums mehrere Varianten und Umarbeitungen, deren letzte das ganze Gebiet der *ehemaligen Gotthardbahn* und des *S. B. B.-Kreises II,* zwei Gebiete von verschiedenen typischen Verhältnissen, umfasst. Die Ausarbeitung dieser Projekte gab auch Anlass, die *Grundlagen des Fahrdienstes,* über die in einer frühern Mitteilung gesprochen worden[1]), etwas zu modifizieren, sie bestätigte das Resultat der in einer Spezialstudie behandelten *Wahl der Periodenzahl*[2]) als auch wirtschaftlich zutreffend, und führte zu genauerer Ausführung der *Kraftwerksprojekte* für das Gotthardgebiet, sowie einer ergänzenden Studie über die *Beschaffung der Wasserkräfte* für die Elektrifikation *aller Schweizer Bahnen.*

[1]) Mitteilungen der Schweiz. Studienkomm. f. elektr. Bahnbetrieb, Nr. 2: Grundlagen des Fahrdienstes etc. Zürich, Rascher & Co., 1908.

[2]) Mitteilungen der Schweiz. Studienkomm. f. elektr. Bahnbetrieb, Nr. 3: Die Wahl der Periodenzahl etc. Zürich, Rascher & Co., 1908.

L4133
K965

Die vorliegende Druckschrift möchte eine Zusammenfassung aller dieser umfangreichen, mehrjährigen Studien darstellen und damit die Reihe dieser „Mitteilungen" abschliessen.

An dieser Stelle möchten wir noch die *Mitarbeiter* der Studienkommission nennen, die sich mit besondern Arbeiten für dieselbe befassten: Die hauptsächlichsten anfänglichen Studien und die ersten Ausführungsprojekte besorgte Ingenieur *L. Thormann* in Bern, der seither durch Ingenieur Dr. *W. Kummer* in Zürich abgelöst wurde. Eine Anzahl Arbeiten führte Ingenieur *Weber-Sahli* in Biel aus, wasserwirtschaftliche und hydraulische Arbeiten lieferte Ingenieur *Affeltranger* (vom Hause Locher & Co., Zürich); den elektrischen Teil der neueren Projekte (exklusive Rollmaterial und Schwachstromanlagen) bearbeitete das Ingenieurbureau *Strelin* (Zürich). Im weitern lieferten Beiträge zu einzelnen Arbeiten die Herren Obermaschineningenieur *Keller* (Bern), Direktor *Baldinger* (Basel), die Obermaschineningenieure *Meyer* (Luzern) und *v. Waldkirch* (Basel), die Ingenieure *E. Huber-Stockar, H. Egg* und *E. Thomann*, Dr. *Epper*, Dr. *Blattner, F. Eckinger* und *Reverdin*, sodann die Firmen *Brown, Boveri & Cie., Maschinenfabrik Oerlikon, Elektrizitätsgesellschaft Alioth, Gebr. Sulzer* und *Rieter & Cie.*, die *Eidg. Obertelegraphendirektion*, die *Obertelegrapheninspektion der S. B. B.*, u. a.

Allen Mitarbeitern der Studienkommission sei auch an dieser Stelle der wohlverdiente Dank ausgesprochen.

Die *generelle Leitung* aller Arbeiten lag in den Händen des Generalsekretärs Prof. Dr. *Wyssling* (Wädenswil und Zürich).

Die Berechnungsresultate und die Anschauungen, welche die Studienkommission in ihren Berichten niedergelegt hat, sind jedoch trotz der Entstehung aus Arbeiten einzelner Mitarbeiter nicht einfach der Ausdruck von persönlichen Meinungen dieser letztern, sondern durch die Mitwirkung aller Sachverständigen der Subkommissionen und der Vertreter der Konstruktionsfirmen der verschiedenen Systeme abgeklärte Ergebnisse, und, namentlich was die rein eisenbahntechnischen Dinge anbelangt, besonders in den letzten Projekten durch die erfreuliche Mit-

Railway eng 27 Ott Stechert 35 8 Mr '15 Z.Tg.

293139

wirkung von Fachmännern der Bundesbahnverwaltung auf eine sichere, bahnseitig anerkannte Basis gestellt.

Die vorliegende Mitteilung behandelt auch Resultate der Studienkommission, die zum Teil schon dem vorletztjährigen Eisenbahnkongress im Berichte des von der Schweiz für diese Frage bestellten Berichterstatters[1]) (unseres Generalsekretärs) vorgebracht worden waren. Doch basierten die dort vorgebrachten Zahlen teilweise noch auf provisorischen Rechnungsergebnissen von Vorprojekten, die durch die heute vorliegenden definitiven Resultate genauer bestimmt wurden. Dadurch, dass im gegenseitigen Einverständnis in einigen Partien dieser Darlegungen derselbe Wortlaut verwendet wird, wie im genannten Kongressbericht, glauben wir der vorliegenden „Mitteilung" keinen Eintrag zu tun.

---

[1]) Internationaler Eisenbahnkongressverband, Sitzung Bern 1910, Frage VIII, Elektrische Zugförderung: Prof. Dr. Wyssling, Bericht Nr. 4.

I. Die Systemfrage.

Zur Zeit des Beginns der Arbeiten der Schweizerischen Studienkommission durfte man sich noch die Frage stellen: Gibt es überhaupt Systeme elektrischen Betriebs, die den Anforderungen eines Grossbahnbetriebs unzweifelhaft genügend entsprechen? Heute wird der Ingenieur diese Frage bestimmt mit Ja beantworten können; wir können des technischen Erfolges der elektrischen Traktion sicher sein.

Aber auch die Frage, welches System im Einzelfalle, und welches allgemein, zunächst rein technisch gesprochen, die grössten Vorteile böte, hat sich bekanntlich gerade in den letzten Jahren bedeutend abgeklärt. Für die Schweiz handelt es sich im besonderen allerdings auch noch darum, ein System zu finden, das die grösstmöglichen *wirtschaftlichen Vorzüge bei Wasserkraftbetrieb* bietet. Zur Würdigung der nachstehenden Auszüge aus den Untersuchungen und Schlüssen der Studienkommission sei vorab nochmals darauf hingewiesen, dass alle Feststellungen über die Eigenschaften der verschiedenen Systeme und die Annahmen über das wirklich mit Sicherheit Ausführbare in eingehender Beratung der Konstrukteure und der Vertreter der verschiedenen Systeme mit den Mitarbeitern und übrigen Sachverständigen der Kommission vorgenommen wurden.

Die in Betracht kommenden Systeme.

Eingehende vergleichende Studien über die verschiedenen Systeme elektrischer Traktion erfordern bestimmte, zahlenmässige Annahmen über die anwendbaren technischen Normen, z. B. die Spannungen und andere technische Verhältnisse. Mit Rücksicht auf die bisherigen Erfahrungen können als im engeren Sinne in Betracht

kommende Systeme höchstens die folgenden bezeichnet werden, die alle mit Stromzuführung zu den Zügen mittels Kontaktleitung und Schienenrückleitung versehen sind:

Gleichstrom mit dritter Schiene für Spannungen bis zu *800 Volt;*

Gleichstrom mit Oberleitung für Spannungen bis zu *3000 Volt*, eventuell 2×3000 Volt in Dreileiteranlagen;

in beiden Fällen in der Regel unter Benützung von Umformerwerken, denen die Energie in Form von hochgespanntem Drehstrom mit Freileitung zugeführt wird;

Dreiphasen-Wechselstrom mit zwei Oberleitungen von *5000 bis 8000 Volt* verketteter Spannung und einer Periodenzahl zwischen 15 und 50 pro Sekunde, unter primärer Verteilung des Drehstroms mit höherer Spannung bis zu Transformationspunkten, die eventuell auch Pufferstationen sein können;

Einphasen-Wechselstrom mit Oberleitung bis zu *15 000 Volt* Spannung und Periodenzahlen zwischen 15 und 25 pro Sekunde, sei es unter primärer Erzeugung von Einphasenstrom oder von Drehstrom höherer Spannung mit Umformung in Speisestationen, die auch zur Pufferung dienen können.

Dabei ist für die *Begrenzung der zulässigen Spannungen* nach oben bestimmend:

Motoren haben sich für Gleichstrom mit 500 und bis 800 Volt allgemein seit langer Zeit bewährt; bei solchen grösserer Leistung sind unter Benützung je zweier Kollektoren 1200 und 1500 Volt in Verwendung (St. Georges de Commiers-La Mure, Wiener Stadtbahn), mit Hülfspolen noch grössere Spannungen (Biasca-Acquarossa). Für die Drehstrom-Induktionsmotoren sind in grösseren Ausführungen 3000 Volt mit Erfolg verwendet (Veltlin, Simplon), versuchsweise auch 10 000 Volt (Berlin-Zossen). Für diese Motoren sowohl wie für die Einphasen-Kollektormotoren ist die Motorspannung (die im letztern Fall bei Serien-Motoren nur zu 3—500 Volt angenommen werden kann) nicht mehr von wesentlicher Bedeutung, sobald Fahrzeugtransformatoren angewandt werden, die zumeist auch aus andern Gründen erforderlich sind.

Die *Apparate für Steuerung und Regulierung, Schaltung und Stromabnahme* sind leicht für dieselben Spannungen wie Motoren und Fahrdraht herzustellen und dafür bewährt.

Es bleibt die Begrenzung der Spannung durch die *Fahrdrahtanlage* selbst. Für die dritte Schiene kann man infolge der Nähe des Bahnoberbaues und wegen der erforderlichen mechanischen Bauart eine sichere Isolation für mehr als die bisher etwa verwendeten 500 bis 800 Volt nicht erzielen, und wegen der Gefährdung von Personen eine höhere Spannung überhaupt nicht anwenden.

Für *einpolige* Oberleitung, wie sie für Einphasen-Wechselstrom in Verwendung kommt, haben sich 15 000 Volt Spannung auf freier Strecke im Betriebe bewährt (vierjähriger Versuchsbetrieb Seebach-Wettingen, Betrieb Spiez-Frutigen, neue Ausführung der New York-New Haven-Bahn, bisher 11 000 Volt, nun 22 000 Volt) und Versuche (Schwedische Staatsbahnen usw.) gingen mit Erfolg noch höher. Für feuchte Tunnels ist die Ausführung naturgemäss etwas schwieriger und haben sich am Anfang, wie nicht anders zu erwarten, einige Schwierigkeiten gezeigt, die aber durch geeignete Anordnungen überwunden wurden (Spiez-Frutigen), so dass man heute auch hier mit 15 000 Volt sicher betreiben kann.

Für die *zweipolige Oberleitung des Drehstromes* (oder eventuell des Gleichstrom-Dreileitersystems) sind 3000 Volt bewährt (Italienische Bahnen, Simplon, neuerdings 6000 Volt bei der Great Northern-Bahn) und kann unbedingt auch mit 6000 Volt, nach Ansicht der Konstrukteure solcher Anlagen auch mit 8000 Volt gerechnet werden. Diese Ueberlegungen, sowie einige andere in Betracht kommende Momente führen dazu, als *zulässige obere Spannungsgrenzen* anzunehmen:

Für den Gleichstrom: 1500 Volt an den Kollektoren,
3000 Volt pro Motor,
800 Volt für dritte Schiene,
3000 Volt für einpolige und
2 × 3000 Volt für zweipolige Oberleitung (Dreileitersystem);

für den Drehstrom: 5000 bis 8000 Volt für Oberleitung, Fahrzeugtransformatoren und eventuell grosse Motoren;
für den Einphasenstrom: ca. 300—500 Volt für reine Serie-Motoren,
6000 Volt für Kollektormotoren nach dem Induktionsprinzip,
15000 Volt für Fahrzeugtransformer und Oberleitung.

Als *Periodenzahlen* für die Wechselstromsysteme könnten beim Einphasenstrom zunächst solche zwischen 15 und 25 in Diskussion kommen, für den Drehstrom dieselben, wie auch die bisher bei Kraftwerken verwendeten von 40 oder 50.

Die durch das Vorstehende fixierten Systeme sind nun den nachstehenden *vergleichenden Untersuchungen* zugrunde gelegt, wobei für die Periodenzahlen rechnerisch die obern und untern Grenzwerte in Betracht gezogen sind.

Vergleich der Systeme in rein technischer Beziehung.

Zunächst ist das *technische Genügen* der verschiedenen Systeme zu untersuchen, und zwar einmal ausgehend von den Anforderungen, die der Bahnbetrieb an ein Traktionssystem stellen muss, und sodann ausgehend von den elektrisch-mechanischen und wirtschaftlichen Eigenschaften der Systeme.

In erster Linie sei vorgenommen ein

Vergleich der Traktionssysteme mit Bezug auf die Anforderungen des Bahnbetriebs an dieselben.

Als solche Anforderungen sind vor allem zu betrachten:

1. Die Erzielung genügender Drehmomente (Zugkräfte) und Leistungen für die Fahrt bei Vollbahnbetrieben;

2. die Einhaltung des Fahrplans unter allen wirklich vorkommenden Verkehrsverhältnissen bei der vorhandenen Eigenart der Motoren (besonders mit Bezug auf die Fahrgeschwindigkeit, ihr Maximum, ihre Regulierung, die Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Zugkraft);

3. die Erzielung befriedigender Anfahrverhältnisse im besonderen;

4. die Möglichkeit der Traktion mit mehreren Triebfahrzeugen im selben Zuge.

1. **Leistungen der elektrischen Triebmittel.** Noch vor wenigen Jahren bestanden Zweifel darüber, ob überhaupt in befriedigender Weise eine derartige Stärke der elektrischen Triebmittel erzielbar sei, wie sie der Vollbahnbetrieb erfordert.

Es lagen zunächst nur kleinere Ausführungen solcher Triebmittel vor, obwohl einzelne elektrische Bahnen, auch im eigenen Lande, schon Ansehnliches leisteten. So mit Gleichstrom die Montreux-Berner Oberland- und die Freiburg-Murten-Ins-Bahn, dann besonders mit Drehstrom die Burgdorf-Thun- und auch die Engelberg-Bahn, mit Einphasenstrom die Maggiatal-Bahn, seither die Schweiz. Seetalbahn und Martigny-Orsières. Dabei war grösstenteils Betrieb durch Motorwagen bewirkt, bei welchem die Gesamtleistung auf eine unter Umständen grössere Zahl Motoren relativ kleiner Leistung verteilt werden kann. Dass auf diese Weise Gesamtzugkräfte entwickelt werden können, wie sie in unserem Grossbahnbetrieb kaum so gross vorkommen, bewiesen dann bald verschiedene ausländische Spezialbahnen, besonders die New Yorker Untergrundbahn für Gleichstrom [1]) (Anfahrzugkräfte von 20 000 kg und Anfahrleistungen von bis 2500 PS, wozu zwei der schwersten Schweizer Dampflokomotiven erforderlich wären), auch die Hamburg-Altona-Vorortbahn für Einphasenstrom. Fraglicher war die Sache längere Zeit für den Lokomotivbetrieb, der grösserer Motoreneinheiten bedarf, und der für Schnell- und Güterzüge unentbehrlich bleiben wird, in unserem Lande namentlich für die Durchführung

[1]) Siehe „Berichte der Schweiz. Studienkommission", Heft 1, Wyssling, Elektrische Bahnen in Nordamerika, Seite 144, und E. T. Z. 1905, Seite 726.

der an der Grenze eintreffenden fremden Dampfschnellzüge.

Im Auslande waren allerdings Lokomotiven grosser Leistung seit Jahren in Betrieb, so seit 1895 für Gleichstrom solche von 1440 PS Stundenleistung bei der Baltimore- und Ohio-Bahn, seit 1905 dann solche von 2200 PS Stundenleistung bei der New York Central-Bahn, ebensogrosse bei der Pennsylvania-Bahn, und andere. Zeigten einzelne der Erstausführungen schwerer elektrischer Lokomotiven noch wesentliche Mängel, namentlich in mechanischer Beziehung, wie das bei einer neuen Sache nicht anders zu erwarten, so sind seither, besonders in letzterem Punkte, die Fortschritte gewaltige gewesen. Es mögen erwähnt werden: Für Gleichstrom 2000 PS-Lokomotiven der Westinghouse-Gesellschaft für die Pennsylvania-Bahn, entsprechende Doppellokomotiven von 4000 PS; für Drehstrom die Brown Boveri'schen Simplon-Lokomotiven, von denen die neueren 1700 PS Stundenleistung haben, und die für den Giovi-Tunnel 2000 PS; für Einphasenstrom Lokomotiven der New York-New Haven-Bahn von 1000 und von 1200 PS, diejenigen der französischen Chemins de fer du Midi von 1500 PS, von Brown Boveri & Cie. und anderen Konstrukteuren, die der preussischen Staatsbahnen verschiedener Provenienz von maximal 1500 PS in *einem* Motor, dann besonders die Ausführungen der Maschinenfabrik Oerlikon, die von Anfang an sich der Entwicklung der Einphasenmaschinen widmete und von den Seebach-Wettinger-Maschinen von 500 PS rasch auf die 2000pferdigen Lötschberg-Maschinen gelangte. Bei allen diesen Lokomotiven handelt es sich um solche, die (zum Teil schon sehr lange) im praktischen Betriebe stehen oder stunden. Ihnen kann heute eine bedeutende Anzahl grösserer Maschinen beigefügt werden, die in Konstruktion sind, z. B. Lötschberg 12 Stück zu 2500 PS, preussische Staatsbahnen mindestens 8 Stück zu 800 bis 1500 PS etc. Die nebenstehenden Tafeln A, B, C, D geben eine Uebersicht über bemerkenswerte elektrische Triebfahrzeuge; auf sie sei für die Einzelheiten hier verwiesen. Es kann daher mit voller Sicherheit gesagt werden: Alle drei Systeme sind imstande, Motoren und Lokomotiven von mehr als genügender Leistung und Zugkraft zu liefern.

Tab. A zu pa

ahrzeuge.

Strom-art		ien Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Gewichte der elektrischen Ausrüstung, in Kilogramm: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotivleistung	Bemerkungen
Gleichstrom	Baltin	—	?	?	?	Wurde im Betrieb auch mit halber Spannung, halber Geschwindigkeit und Leistung gebraucht
	Baltin	—	20 300	2,9	26,0	
	North	—	?	?	?	
	Wiene	—	14 500	4,3	28,0	Versuchslokomotive Hochspannungs-Dreileiterverteilung
	Michi	—	29 500	3,0	25,0	
Gleichstrom	Paris	—	21 300	5,8	23,0	
	Paris	—	22 000	8,5	37,0	Normalzugkraft nach Schätzung
	Centr	—	24 800	8,3	35,0	
	Centr	—	?	?	?	
	Milan	—	?	?	?	
	Milan	44,6	32 000	4,3	21,3	67 Prozent Adhäsion
Gleichstrom	New	41,0	27 800	5,4	13,0	75 Prozent Adhäsion
	Penns	42,0	?	?	?	62 Prozent Adhäsion
Drehstrom	Burg	—	10 000	3,7	33,0	
	Great	—	54 000	3,3	28,0	Fahrzeugtransformatoren
	Burg	—	18 000	7,8	23,0	

Zusammenstellung der Hauptdaten über ausgeführte Triebfahrzeuge.

a) Lokomotiven.

Strom-art	Bahnverwaltung	Antriebsanordnung	Kennziffern gemäss Stundenleistung: Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde am Radumfang	Zugkraft in Kilogramm am Radumfang: Pro Lokomotive	Zugkraft in Kilogramm am Radumfang: Pro Motor	Drehmoment in Meter pro Kilogramm: Pro Lokomotive an deren Triebachsen	Drehmoment in Meter pro Kilogramm: Pro Motor an seiner Welle	Leistung in Pferdestärken: Pro Lokomotive	Leistung in Pferdestärken: Pro Motor	Gewichte der Lokomotiven, in Kilogramm: Konstruktionen ohne Laufachsen: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Konstruktionen mit Laufachsen: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Gewichte der elektrischen Ausrüstung, in Kilogramm: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotivleistung	Bemerkungen
										Lokomotiven für kleinere Geschwindigkeiten.									
Gleichstrom	Baltimore-Ohio von 1896 . .	Achsmotoren	24,0	16 000	4 000	12 400	3 100	1 440	360	96 000	7,7	67,0	—	—	—	?	?	?	Wurde im Betrieb auch mit halber Spannung, halber Geschwindigkeit und Leistung gebraucht
	Baltimore-Ohio von 1903 . .	Zahnradvorgelege	17,0	13 200	3 300	7 000	450	800	200	80 000	11,4	100,0	—	—	—	20 300	2,9	26,0	
	North Eastern.	,, ...	23,0	7 000	1 750	2 800	210	600	150	56 200	20,0	94,0	—	—	—	?	?	?	
	Wiener Stadtbahn	,, ...	25,0	5 600	1 400	3 350	190	520	130	29 000	8,7	56,0	—	—	—	14 500	4,3	28,0	Versuchslokomotive Hochspannungs-Dreileiterverteilung
	Michigan Central Railroad . .	,, ...	20,0	16 400	4 100	10 000	575	1 200	300	91 000	9,1	76,0	—	—	—	29 500	3,0	25,0	
										Lokomotiven für mittlere Geschwindigkeiten.									
Gleichstrom	Paris Orléans	Zahnradvorgelege	42,0	6 000	1 500	3 700	400	920	230	50 000	13,5	54,5	—	—	—	21 300	5,8	23,0	
	Paris-Versailles	Achsmotoren	40,0	4 000	1 000	2 600	650	600	150	50 900	19,5	85,0	—	—	—	22 000	8,5	37,0	Normalzugkraft nach Schätzung
	Central-London	,, ...	35,0	5 600	1 400	3 000	750	720	180	44 300	14,8	62,0	—	—	—	24 800	8,3	35,0	
	Central-London	Zahnradvorgelege	37,0	4 400	1 100	2 750	210	600	150	31 500	11,4	53,0	—	—	—	?	?	?	
	Milano-Varese	,, ...	40,0	4 000	1 000	2 800	200	600	150	35 000	12,5	58,0	—	—	—	?	?	?	
	Milano-Varese	Pleuelstang.- u. Kurbeltrieb	40,0	10 000	5 000	7 500	3 750	1 500	750	—	—	—	67 000	8,9	44,6	32 000	4,3	21,3	67 Prozent Adhäsion
										Lokomotiven für grosse Geschwindigkeiten.									
Gleichstrom	New York Central 6000 . . .	Achsmotoren	64,5	9 200	2 300	5 200	1 300	2 200	550	—	—	—	90 000	17,0	41,0	27 800	5,4	13,0	75 Prozent Adhäsion
	Pennsylvania Railroad 1909 .	Pleuelstang.- u. Kurbeltrieb	48,0	23 000	11 500	20 000	10 000	4 000	2 000	—	—	—	168 000	8,4	42,0	?	?	?	62 Prozent Adhäsion
										Lokomotiven für kleinere Geschwindigkeiten.									
Drehstrom	Burgdorf-Thun 1899	Zahnrad- und Kurbeltrieb .	18,0 36,0	4 400 2 200	2 200 1 100	2 700	360	300	150	30 000	11,1	100,0	—	—	—	10 000	3,7	33,0	
	Great Northern	Doppelt. Zahnradvorgelege	24,0	21 640	5 410	16 500	950	1 900	475	115 000	7,0	61,0	—	—	—	54 000	3,3	28,0	Fahrzeugtransformatoren
	Burgdorf-Thun 1910	Zahnrad- und Kurbeltrieb.	15,72 21,0 31,5 42,0	8 570 7 720 6 000 5 140	4 285 3 360 3 000 2 570	2 300	145	800	400	42 000	18,3	53,0	—	—	—	18 000	7,8	23,0	

Tab. B zu p

euge (Fortsetzung).

Strom-art		n nen n Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Gewichte der elektrischen Ausrüstung, in Kilogramm: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotivleistung	Bemerkungen
Dreh-strom	Veltli	—	31 500	6,2	35,0	
	Italie Gi	—	28 200	4,7	14,0	Grössere Zugkraft abnormal bei grösserer Geschwindigkeit
Drehstrom	Berlin	—	28 000	16,0	28,0	War nur mit teilweiser Ausrüstung im Betrieb
	Veltli	52,0	32 000	5,5	28,0	68 Prozent Adhäsion
	Veltli	41,0	32 000	4,7	21,0	68 Prozent Adhäsion
	Simpl	56,0	29 000	6,0	26,0	71 Prozent Adhäsion
	Simpl	—	35 000	4,9	21,0	
Einphasenstrom	Murna	—	10 000	13,3	50,0	
	Murna	—	12 600	11,0	33,0	
	St. Cl	—	?	?	?	
	Orani	—	?	?	?	Ist nur mit teilweiser Ausrüstung im Betrieb
	Dessa lok	—	26 000	7,6	43,0	
	Dessa Lok	—	31 500	10,0	37,0	

Zusammenstellung der Hauptdaten über ausgeführte Triebfahrzeuge (Fortsetzung).

a) Lokomotiven (Fortsetzung).

Stromart	Bahnverwaltung	Antriebsanordnung	Kennziffern gemäss Stundenleistung: Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde am Radumfang	Zugkraft in Kilogramm am Radumfang: Pro Lokomotive	Zugkraft in Kilogramm am Radumfang: Pro Motor	Drehmoment in Meter pro Kilogramm: Pro Lokomotive an deren Triebachsen	Drehmoment in Meter pro Kilogramm: Pro Motor an seiner Welle	Leistung in Pferdestärken: Pro Lokomotive	Leistung in Pferdestärken: Pro Motor	Gewichte der Lokomotiven, in Kilogramm: Konstruktionen ohne Laufachsen: Total	Konstruktionen ohne Laufachsen: Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Konstruktionen ohne Laufachsen: Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Konstruktionen mit Laufachsen: Total	Konstruktionen mit Laufachsen: Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Konstruktionen mit Laufachsen: Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Gewichte der elektrischen Ausrüstung, in Kilogramm: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotivleistung	Bemerkungen
										Lokomotiven für mittlere Geschwindigkeiten.									
Drehstrom	Veltlinbahn, Type 34	Achsmotor	33,0	7 200	1 800	5 050	1 260	900	225	46 000	9,1	51,0	—	—	—	31 500	6,2	35,0	
Drehstrom	Italienische Staatsbahn, Type Giovi	Parallelkurbeltrieb	22,0 44,0	10 300 12 300	5 150 6 150	6 000	3 000	2 000	1 000	60 200	10,0	30,0	—	—	—	28 200	4,7	14,0	Grössere Zugkraft abnormal bei grösserer Geschwindigkeit
										Lokomotiven für grössere Geschwindigkeiten.									
Drehstrom	Berlin-Zossen	Zahnradvorgelege	100,0	2 720	680	1 700	200	1 000	250	54 000	32,0	54,0	—	—	—	28 000	16,0	28,0	War nur mit teilweiser Ausrüstung im Betrieb
Drehstrom	Veltlinbahn, Type 36	Parallelkurbeltrieb	32,0 64,0	7 800 5 100	3 900 2 550	5 800	2 900	1 200	600	—	—	—	62 000	10,6	52,0	32 000	5,5	28,0	68 Prozent Adhäsion
Drehstrom	Veltlinbahn, Type 38	,,	25,5 42,0 64,0	9 000 7 600 6 300	4 500 7 600 6 300	6 750	3 375	1 500	750	—	—	—	62 000	9,2	41,0	32 000	4,7	21,0	68 Prozent Adhäsion
Drehstrom	Simplonbahn, Type 1906	,,	35,0 70,0	5 800 4 000	2 900 2 000	4 800	2 400	1 100	550	—	—	—	62 000	12,9	56,0	29 000	6,0	26,0	71 Prozent Adhäsion
Drehstrom	Simplonbahn, Type 1907	,,	26,0 35,0 53,0 70,0	11 500 10 000 7 700 6 400	5 750 5 000 3 850 3 200	7 200	3 600	1 700	850	68 000	9,5	40	—	—	—	35 000	4,9	21,0	
										Lokomotiven für kleinere Geschwindigkeiten.									
Einphasenstrom	Murnau-Oberammergau 1905.	Zahnradvorgelege	18,0	3 000	1 500	750	75	200	100	20 000	27,0	100,0	—	—	—	10 000	13,3	50,0	
Einphasenstrom	Murnau-Oberammergau 1909.	,,	22,0	4 200	2 100	1 050	100	350	175	24 000	23,0	69,0	—	—	—	12 600	11,0	33,0	
Einphasenstrom	St. Clair-Tunnel	,,	16,0	12 600	4 200	10 000	630	750	250	62 000	6,2	83,0	—	—	—	?	?	?	
Einphasenstrom	Oranienburger Versuchsbahn	,,	28,2	13 400	3 350	9 400	2 350	1 400	350	67 000	7,1	48,0	—	—	—	?	?	?	Ist nur mit teilweiser Ausrüstung im Betrieb
Einphasenstrom	Dessau-Bitterfeld, Güterzugslokom. v. Brown Boveri & Cie.	Pleuelstangen- und Kurbeltrieb	25,0	6 500	6 500	3 400	3 400	600	600	56 000	16,5	93,0	—	—	—	26 000	7,6	43,0	
Einphasenstrom	Dessau-Bitterfeld, Siemens-Lokomotive f. Güterzüge in 4/4	Pleuelstangen- und Kurbeltrieb	38	6 000	6 000	3 150	3 150	850	850	64 000	20,0	75,0	—	—	—	31 500	10,0	37,0	

Tab. C zu

uge (Fortsetzung).

Strom-art		en Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Gewichte der elektrischen Ausrüstung, in Kilogramm: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotivleistung	Bemerkungen
Einphasenstrom	See	—	21 000	12,0	42,0	
	See	—	33 000	7,4	24,0	War nur mit teilweiser Ausrüstung im Betrieb
	Ver					
	E	71,0	?	?	?	Ist nur mit teilweiser Ausrüstung im Betrieb
	Ber	—	44 000	5,1	22,0	
	Ber	43,0	68 000	7,5	27,0	88 Prozent Adhäsion
	Che					
	A	55,0	?	?	?	70 Prozent Adhäsion
	Che	53,0	42 000	5,8	28,0	68 Prozent Adhäsion
	E					
	Che					
	T	57,0	46 000	7,8	31,0	63 Prozent Adhäsion
Einphasenstrom	Ne					
	S	—	?	?	?	
	Ne					
	f	84,0	?	?	?	72 Prozent Adhäsion
	Per					
	r	65,0	?	?	?	
	Wi					
	r	63,0	34 000	13,0	32,0	64 Prozent Adhäsion
	Wi					
	r	69,0	31 000	10,5	33,0	65 Prozent Adhäsion
	Pa					
	?	76	72 000	12	40	53 Prozent Adhäsion, Redresseur-Lokomotive
	De					
	l	72,0	28 000	11,0	28,0	42 Prozent Adhäsion

Zusammenstellung der Hauptdaten über ausgeführte Triebfahrzeuge (Fortsetzung).

a) Lokomotiven (Fortsetzung).

Strom-art	Bahnverwaltung	Antriebsanordnung	Kennziffern gemäss Stundenleistung: Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde am Radumfang	Zugkraft in Kilogramm am Radumfang: Pro Lokomotive	Zugkraft in Kilogramm am Radumfang: Pro Motor	Drehmoment in Meter pro Kilogramm: Pro Lokomotive an deren Triebachsen	Drehmoment in Meter pro Kilogramm: Pro Motor an seiner Welle	Leistung in Pferdestärken: Pro Lokomotive	Leistung in Pferdestärken: Pro Motor	Gewichte der Lokomotiven, in Kilogramm: Konstruktionen ohne Laufachsen: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Konstruktionen mit Laufachsen: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotiv-Leistung	Gewichte der elektrischen Ausrüstung, in Kilogramm: Total	Pro Meterkilogramm Lokomotiv-Drehmoment	Pro Pferdestärke Lokomotivleistung	Bemerkungen
Lokomotiven für mittlere Geschwindigkeiten.																			
Einphasenstrom	Seebach-Wettingen Nr. 1 und 2	Zahnrad- und Kurbeltrieb	40,0	3 400	1 700	1 700	280	500	250	42 000	24,0	84,0	—	—	—	21 000	12,0	42,0	
Einphasenstrom	Seebach-Wettingen Nr. 3	Zahnradvorgelege	45,0	8 100	1 350	4 450	200	1 350	225	75 000	17,0	56,0	—	—	—	33 000	7,4	24,0	War nur mit teilweiser Ausrüstung im Betrieb
Einphasenstrom	Versuchslokomotive "General Electric Company"	Pleuelstangen- und Kurbeltrieb	32,0	13 600	6 800	8 500	4 250	1 600	800	—	—	—	113 000	13,0	71,0	?	?	?	Ist nur mit teilweiser Ausrüstung im Betrieb
Einphasenstrom	Berner Alpenbahn, Type in 3/6	Zahnrad- und Kurbeltrieb	42,0	12 800	6 400	8 650	1 330	2 000	1 000	90 000	10,4	45,0	—	—	—	44 000	5,1	22,0	
Einphasenstrom	Berner Alpenbahn, Type in 5/7	Zahnrad- und Kurbeltrieb	50,0	13 500	6 750	9 100	—	2 500	1 250	—	—	—	108 000	11,9	43,0	68 000	7,5	27,0	88 Prozent Adhäsion
Einphasenstrom	Chemin de fer du Midi, Type A. E. G.	Pleuelstangen- und Kurbeltrieb	45,0	9 000	4 500	6 100	3 050	1 500	750	—	—	—	83 000	13,6	55,0	?	?	?	70 Prozent Adhäsion
Einphasenstrom	Chemin de fer du Midi, Type Brown Boveri & Cie.	Parallelkurbeltrieb	45,0	9 000	4 500	7 200	3 600	1 500	750	—	—	—	80 000	11,1	53,0	42 000	5,8	28,0	68 Prozent Adhäsion
Einphasenstrom	Chemin de fer du Midi, Type Thomson & Winterthur	Pleuelstangen- und Kurbeltrieb	45,0	9 000	4 500	5 900	2 950	1 500	750	—	—	—	86 000	14,5	57,0	46 000	7,8	31,0	63 Prozent Adhäsion
Lokomotiven für grosse Geschwindigkeiten.																			
Einphasenstrom	NewYork—NewHaven—Hartford Schnellzug	Achsmotor	68,0	4 000	1 000	3 200	800	1 000	250	77 000	24,0	77,0	—	—	—	?	?	?	
Einphasenstrom	NewYork—NewHaven—Hartford Personen- und Güterzug	Zahnradvorgelege u. hohle Welle	56,0	7 000	1 750	5 600	600	1 400	350	—	—	—	118 000	21,0	84,0	?	?	?	72 Prozent Adhäsion
Einphasenstrom	Pennsylvania Railroad, Type 10 003	Achsmotor	83,0	3 200	1 600	3 000	1 500	1 000	500	—	—	—	65 250	22,0	65,0	?	?	?	
Einphasenstrom	Wiesentalbahn, Siemenslokomotive	Pleuelstangen- und Kurbeltrieb	61,0	4 400	2 100	2 650	1 325	1 050	525	—	—	—	66 000	25,0	63,0	34 000	13,0	32,0	64 Prozent Adhäsion
Einphasenstrom	Wiesentalbahn, Personenlokomotive v. Brown Boveri & Cie.	Parallelkurbeltrieb	61,0	4 200	2 100	2 940	1 470	950	475	—	—	—	65 000	22,0	69,0	31 000	10,5	33,0	65 Prozent Adhäsion
Einphasenstrom	Paris—Lyon—Mittelmeer, Type Alioth	Zahnradvorgelege	60	8 000	2 000	6 000	500	1 800	450	—	—	—	136 000	22	76	72 000	12	40	53 Prozent Adhäsion, Redresseur-Lokomotive
Einphasenstrom	Dessau-Bitterfeld Schnellzugslokomotive der A. E. G. in 2/5	Pleuelstangen- und Kurbeltrieb	85,0	3 200	3 200	2 550	2 550	1 000	1 000	—	—	—	72 000	28,0	72,0	28 000	11,0	28,0	42 Prozent Adhäsion

Tab. D

rzeuge (Fortsetzung).

St	ıte der elektrischen tung, in Kilogramm		Bemerkungen
	Pro Meterkilogramm Wagen-Drehmoment	Pro Pferdestärke Wagenleistung	
	4,8	30	Dreileiter-Spannungsteilung
	6,6	44	
Gleic	6,2	28	Hochspannungsausrüstung
	6,4	28	
	8,5	22	
	11,0	34	
	5,3	20	
	11,2	35	
	6,5	22	
	6,0	20	
	4,8	21	
Dreh	10,9	42	
	19,7	77	
	20,0	16	
Einp	6,5	59	
Einp	6,7	24	Ohne Transformator
	24,5	66	Gleichzeitig für Einphasen- und Gleichstrom
	10,5	47	
	12,0	50	
	7,2	35	
	12,3	50	

Zusammenstellung der Hauptdaten über ausgeführte Triebfahrzeuge (Fortsetzung).

b) Motorwagen.

Stromart	Bahnverwaltung	Triebwerkübersetzung	Kennziffern gemäss Stundenleistung: Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde am Radumfang	Zugkraft in Kilogramm am Radumfang: Pro Wagen	Zugkraft in Kilogramm am Radumfang: Pro Motor	Drehmoment in Meterkilogramm: Pro Wagen an dessen Triebachsen	Drehmoment in Meterkilogramm: Pro Motor an seiner Welle	Leistung in Pferdestärken: Pro Wagen	Leistung in Pferdestärken: Pro Motor	Gewichte der elektrischen Ausrüstung, in Kilogramm: Total	Pro Meterkilogramm Wagen-Drehmoment	Pro Pferdestärke Wagenleistung	Bemerkungen
	Motorwagen für kleinere Geschwindigkeiten.												
Gleichstrom	Freiburg-Murten-Ins	1:4,0	21	5 000	1 250	2 500	160	400	100	12 000	4,8	30	
	Tabor-Bechyne	1:5,0	17	1 900	475	800	40	120	30	5 300	6,6	44	Dreileiter-Spannungsteilung
	Motorwagen für mittlere Geschwindigkeiten.												
	Lancashire & Yorkshire Railway, Wagen mit 2 Motoren	1:2,15	32	2 100	1 050	1 120	260	250	125	7 000	6,2	28	
	Lancashire & Yorkshire Railway, Wagen mit 4 Motoren	1:1,95	32	5 000	1 250	2 670	340	600	150	17 000	6,4	28	
	Paris-Versailles, Wagen mit 2 Motoren	?	45	1 800	900	765	?	300	150	6 500	8,5	22	
	Paris-Versailles, Wagen mit 4 Motoren	?	45	1 900	475	1 000	?	320	80	11 000	11,0	34	
	Subway New York	1:3,3	30	3 600	1 800	1 500	230	400	200	8 000	5,3	20	
	Köln-Bonn	1:3,1	40,5	1 700	850	800	130	260	130	9 000	11,2	35	Hochspannungsausrüstung
	Milano-Varese, Wagen mit 2 Motoren	1:2,5	43	1 900	950	1 000	200	300	150	6 500	6,5	22	
	Milano-Varese, Wagen mit 4 Motoren	1:2,5	43	3 800	950	2 000	200	600	150	12 000	6,0	20	
	North Eastern	1:3,24	29	2 800	1 400	1 300	200	300	150	6 300	4,8	21	
	Motorwagen für mittlere Geschwindigkeiten.												
Drehstrom	Burgdorf-Thun	1:3,0	36	1 800	450	920	77	240	60	10 000	10,9	42	
	Veltlin-Bahn	1:1	32	2 000	500	1 170	290	300	75	23 000	19,7	77	
			64	1 260	320								
	Motorwagen für sehr grosse Geschwindigkeit.												
	Berlin-Zossen, AEG-Wagen	1:1	210	2 300	575	1 440	360	1 800	450	29 870	20,0	16	
	Motorwagen für kleinere Geschwindigkeit.												
Einphasenstrom	Murnau-Oberammergau	1:5,0	20	3 600	900	1 800	90	200	100	11 700	6,5	59	
	Motorwagen für mittlere Geschwindigkeiten.												
Einphasenstrom	Johannistal-Spindlersfelde	1:4,0	38	1 800	900	900	112	250	125	6 000	6,7	24	Ohne Transformator
	Wien-Baden	1:3,2	40	1 100	275	470	37	160	40	10 500	24,5	66	Gleichzeitig für Einphasen- und Gleichstrom
	Midland Railway, Siemens-Wagen	1:3	32	3 300	1 650	1 800	300	400	200	19 000	10,5	47	
	Midland Railway, Westinghouse-Wagen	1:2,8	32	2 500	1 250	1 400	250	300	150	15 000	12,0	50	
	Hamburg-Altona	?	28	3 500	1 750	1 750	?	360	180	12 500	7,2	35	
	Martigny-Orsières	1:2,53	39	2 500	625	1 440	142	360	90	17 800	12,3	50	

2. **Die Möglichkeit der Einhaltung des Fahrplans** unter allen wirklich vorkommenden Verhältnissen. Dafür erweisen sich die verschiedenen Systeme als nicht völlig gleichwertig.

Der Bahnbetrieb erfordert von diesem Gesichtspunkte aus: *a)* Einstellbarkeit der Geschwindigkeit innerhalb weiter Grenzen für jede in Betracht kommende Zugkraft; *b)* Einhaltung der Fahrzeit innerhalb der vorkommenden Gewichte der Züge und zwar unabhängig von Zugsgewicht und Streckenbelastung; *c)* die Möglichkeit der Einhaltung der maximal zugelassenen (behördlich erlaubten) Geschwindigkeiten auch auf Steigungen, soweit dies nicht mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit der ganzen Anlage (besonders bei Wasserkraftbetrieb) beschränkt werden muss; *d)* zur Einholung von Verspätungen die ausnahmsweise Möglichkeit, die maximal zugelassenen Geschwindigkeiten auf Steigungen auch da eintreten zu lassen, wo dies mit Rücksicht auf die letzte Bemerkung unter *c)* sonst nicht ausgeführt würde.

Für die Erfüllung dieser Forderung muss man von der Verwendung von allzu komplizierten Mitteln, die zwar ausführbar sind, aber für den praktischen Bahnbetrieb doch wenig geeignet sein dürften (wie z. B. Umformung auf der Lokomotive für Aenderung der Periodenzahl oder des Stromsystems, oder für Separaterregung, Verwendung von Zusatzgeneratoren auf der Lokomotive u. dgl. mehr), offenbar absehen. Zur Erfüllung der unter *a)* genannten Forderung bleiben dann folgende ausführbare Mittel:

Für den Gleichstrommotor die Anwendung von zwei oder vier Motoren in Serie-Parallelschaltung, zur Erreichung verschiedener, in *Stufen* voneinander abstehender Geschwindigkeiten, für den Drehstrom beim Einzelmotor zum gleichen Zwecke die Polumschaltung, für mehrere oder *Doppel*motoren auch die Kaskadenschaltung. Ueberlegung und Erfahrung zeigen dabei die Ueberlegenheit des erstern Mittels gegenüber dem letztern; dooh erzielen bei Polumschaltung nicht alle Stufen mehr die gleiche Zugkraft;

für Gleichstrom- wie Drehstrommotor die Verwendung von Vorschaltwiderständen in einfacher, aber unökonomischer Weise zur Erzielung von *zwischen den* Grundgeschwindigkeiten der *Stufen liegenden* Geschwindigkeiten;

für den Einphasen-Kommutatormotor mit Serie-Charakteristik die beliebige Veränderung der Motorenspannung und der Geschwindigkeit mittels Reguliertransformators, der zwar das Fahrzeug beschwert, bei den in Betracht kommenden Kontaktdrahtspannungen aber ohnehin als Fahrzeugtransformer notwendig wird; für die Einphasenmotoren mit Verwendung des Induktionsprinzips (z. B. System Déri-Brown) die Bürstenverdrehung, wobei nicht unbedingt bei grossen, aber wenigstens bei kleineren Motoren zur Reduktion der Fahrdrahtspannung ebenfalls mit einem Fahrzeugtransformator zu rechnen ist.

In welchem Masse bei bisherigen Ausführungen verschiedenen Systems eine *Regulierung der Geschwindigkeit ohne Vorschaltwiderstände*, also eine Verlegung der „Zugkraft-Geschwindigkeits-Kurve" (sogen. mechanischen Charakteristik) erzielt ist, zeigten die Darstellung solcher Kurven auf Seite 24–27 für einige moderne Bahnmotoren: Einen Gleichstrom-Serienmotor in Regulierung durch Serie-Parallel-Schaltung und mit Nebenschluss zur Magnetwicklung, einen Drehstrom-Induktionsmotor mit 4 Pol-Umschaltungen, und für zwei Einphasen-Kollektormotoren, wovon der eine nach Brown-Déri mit Bürstenverschiebung und der andere ein Reihenschlussmotor mit Regulierung durch Stufentransformer.

Der Einphasen-Kollektor-Motor hat die weitestgehende Möglichkeit der Geschwindigkeitsregelung bei ganz gleich bleibender Zugkraft ohne Widerstandsverluste.

Die Einhaltung der Fahrzeit nach Punkt *b)* ist somit beim Gleichstrommotor und beim Drehstrominduktionsmotor mit Triebfahrzeugen grösserer Leistung, bei denen Serie-Parallelschaltung, bezw. Polumschaltung zur Anwendung kommen kann, durch eine genügende Anzahl möglicher Geschwindigkeitsstufen im wesentlichen in wirtschaftlicher Weise gewährleistet, für kleinere Leistungen (Motorwagenbetrieb) dagegen meist nur mit Hülfe der unökonomischen Widerstandsregulierung möglich, und sie erfordert in jedem Falle, dass auch die grösste Streckenbelastung keinen zu grossen Spannungsabfall in der Kontaktleitung erzeugt. Der Einphasenkommutatormotor dagegen erfüllt die Bedingung *b)* ökonomisch, und erlaubt, mittels des Reguliertransformators auch einem aussergewöhn-

lichen Spannungsabfall der Strecke zu begegnen; er kann hierdurch auch die Bedingung *c)* erfüllen, welcher der Drehstrominduktionsmotor ohne weiteres gerecht wird, während der Gleichstrommotor dies nicht vollständig kann.

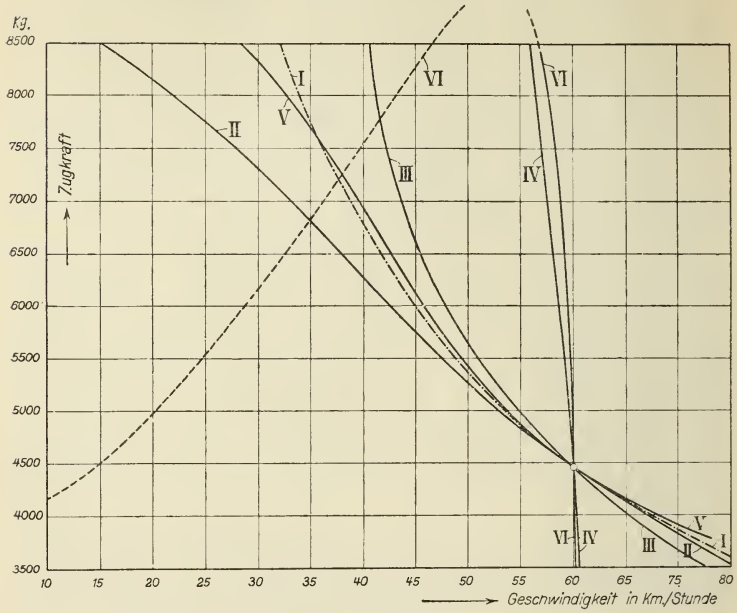
Die ausnahmsweise Steigerung der Geschwindigkeit nach *d)* wäre beim Gleichstrommotor durch Feldschwächung mittels Nebenschliessung in gewissem Grade möglich, ist aber durch das eintretende Sinken der Kontaktdrahtspannung begrenzt; beim Drehstrominduktionsmotor ist sie nur möglich, wenn eine Geschwindigkeitsstufe dafür in Reserve gehalten und für gewöhnlich nicht ausgenützt wird, oder dann auf Gefällen; beim Einphasenkommutatormotor erlaubt entsprechende Anordnung des Reguliertransformators auch diese Massregel sehr gut.

Der Einholung von Verspätungen wird der Bahnbetriebstechniker grosses Gewicht beimessen. Abgesehen von der zumeist nicht möglichen Abkürzung der Haltezeiten kann sie nur mit Steigerung der Geschwindigkeit über die gewöhnlich auf den betreffenden Steigungen angewandte hinaus, d. h. mit grösstmöglicher Ausnützung der zulässigen Maximalgeschwindigkeit auf der ganzen Strecke erreicht werden. Das kann aber nur bei Erfüllung der Forderung *c)* und *d)* durch die Motoren ausgeführt werden.

Hier sei noch des Verhaltens der Motoren *ohne* Regulierung gedacht; dasselbe kommt zwar für den Betrieb seltener unmittelbar in Betracht, es veranschaulicht jedoch die natürliche Anpassung der Motoreigenschaften an die Forderungen des Bahnbetriebes, und ist von Bedeutung für solche Motoren, für welche die Einstellung von *Zwischengeschwindigkeiten* im allgemeinen nur durch unökonomische Regulierungsvorrichtungen möglich ist (Drehstrominduktion und Gleichstrom); es ist auch besonders interessant im Vergleich mit dem Verhalten der bisher verwendeten Dampflokomotive. In diesem Sinne sei auf nachstehende *Kurven* verwiesen, die für die verschiedenen Motorenarten alle von derselben „normalen" Zugkraft und Stundenleistung ausgehen. Dabei ist noch eine Kurve für einen „Motor konstanter Leistung" mit eingetragen, wie er vom elektrischen Standpunkt aus für den Motor selbst, sowie mit Rücksicht auf eine gleichmässigere Belastung der

Kraftwerke bei Wasserkraftbetrieb als „idealer" wünschbar wäre.

Mechanische Charakteristik verschiedener Motorenarten gleicher **normaler** Zugkraft und Geschwindigkeit.



I Ideal-Motor konstanter Leistung.
II Dampf-Lokomotive (aus „Schw. Bauzeitung", Bd. LV, S. 105).
III Gleichstrom-Serie-Motor.
IV Gleichstrom-Nebenschluss-Motor.
V Einphasen-Serie-Motor.
VI Drehstrom-Induktions-Motor.

Unsere Schlussfolgerung ist die, dass sämtliche zur Einhaltung des Fahrplans nötigen Bedingungen durch Einphasenkommutatormotoren in vollkommener Weise erfüllt werden, durch Gleichstrom- und Drehstrominduktionsmotoren dagegen nicht ganz, obwohl auch bei diesen für die meisten Fälle praktisches Genügen vorhanden sein kann.

3. **Anfahrverhältnisse.** Um die verschiedenen Motor-Systeme in bezug auf die Anfahrverhältnisse zu vergleichen,

muss das Verhältnis der zum Anfahren erforderlichen Zugkräfte zu den sogenannten „normalen", d. h. den bei der normalen oder der „Stunden"-Leistung zur Fortbewegung nötigen Zugkräfte, festgestellt werden.

Für die Schweizer Bahnen wird die *normale* Motorzugkraft fast überall für Steigungen zwischen 10 und 20 ‰ (für die Gotthardbahn für grössere) zu bemessen sein. Es sei ferner angenommen, dass bei der zukünftigen elektrischen Traktion der Schweizer Bahnen eine mittlere Beschleunigung erzielt werden sollte von 0,3 m/sec² für Personenzüge, 0,2 m/sec² für Schnellzüge, 0,1 m/sec² für Güterzüge. Diese Beschleunigungen sind zum Teil wesentlich grösser als diejenigen, welche unser bisheriger Dampfbetrieb aufweist, denn nach vorgenommenen Messungen überschritten die bisher angewandten Beschleunigungen niemals 0,15 m/sec² für Personen- und für Schnellzüge, bezw. 0,1 m/sec² für Güterzüge.

Unter Annahme eines mittleren Rollwiderstandes von 5 *kg/t* ergeben sich nun, wenn die normale Leistung und die normale Zugkraft Z_0 bemessen sind für die Fahrt:

	auf der Steigung von											
	10 ‰			15 ‰				20 ‰				
Für die Anfahrt auf Steigungen von	0 ‰	5 ‰	10 ‰	0 ‰	5 ‰	10 ‰	15 ‰	0 ‰	5 ‰	10 ‰	20 ‰	
die nachstehenden Beschleunigungen in m/sec²:												
bei einer Anfahrzugkraft von:												
$Z = 2\ Z_0$ . . .	0,25	0,20	0,15	0,35	0,30	0,25	0,20	0,45	0,40	0,35	0,25	
$Z = 3\ Z_0$ . . .	0,40	0,33	0,30	0,55	0,50	0,45	0,40	0,70	0,65	0,60	0,50	
und die nachstehenden Anfahrzugkräfte, ausgedrückt in Vielfachen der Normalzugkraft Z_0:												
für eine Anfahrbeschleunigung von:												
a = 0,2 m/sec² .	1,66	2,0	2,3	1,25	1,5	1,75	2,0	1,0	1,2	1,4	1,8	
a = 0,3 m/sec² .	2,3	2,6	3,0	1,75	2,0	2,25	2,5	1,4	1,6	1,8	2,2	

Es ergibt sich somit, dass für unsere Verhältnisse die oben genannten, reichlich genügenden Anfahrbeschleunigungen *dann* überall erreicht und zumeist wesentlich überschritten werden, wenn die Anfahrzugkraft das *doppelte* der normalen ist.

Dies kann mit allen drei Motorsystemen anstandslos erzielt werden, beim Gleichstrommotor mit ungefähr dem 1,7fachen der Normal-Stromstärke, was mit Rücksicht auf Erwärmung wie auf Funkenbildung am Kollektor durchaus zulässig ist. Beim Drehstrommotor ist ungefähr die doppelte Normalstromstärke erforderlich, bei Stufenschaltung für die kleinen Geschwindigkeiten etwas mehr, aber nicht mehr als für die kurze Zeit zulässig. Beim Einphasen-Kommutatormotor ist die Funkenbildung am Kollektor beim Anfahren (wobei dann ebenfalls ungefähr doppelt so viel Strom gebraucht wird als normal) vermeidbar bei niedriger Periodenzahl und entsprechender Kompensation; die hierin anfänglich bestandene Schwierigkeit ist heute vollkommen gelöst, wie z. B. die 1000pferdigen Motoren der im Betrieb befindlichen Lötschberglokomotive der Maschinenfabrik Oerlikon einwandfrei beweisen.

Als Beispiele der erreichbaren Anfahrzugkräfte und der dabei aufgenommenen wirklichen und scheinbaren Leistungen mögen folgende angeführt werden:

Erreichbare Anfahrzugkräfte und zugehörige Leistungsaufnahmen für Motoren der verschiedenen Systeme.

	Zugkraft, in Prozent der normalen:					
	50	100	150	200	250	300
Gleichstrombahnmotor Alioth G. T. M. 65 für 750 Volt und 65 PS Stundenleistung.						
Aufnahme, in Kilowatt:						
des Motors allein	2,4	4,7	7,0	9,4	11,7	14,0
des Motors mit Anlass-widerstand	10,0	14,8	16,1	18,6	22,0	24,0
bei konstanter Normalspannung						
Drehstromlokomotivmotor Brown Boveri & Cie. D 16/6-500-320 für 850 PS Stundenleistung, 16 Perioden, 3000 Volt.						
Aufnahme, in Kilowatt . .	210	420	630	840	1050	1260
,, in Kilovolt-Ampère	320	640	960	1280	1600	1920
Leistungsfaktor	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655	0,655
Einphasenkommutatormotor mit Déri-Schaltung, von Brown, Boveri & Cie. für 300 PS Stundenleistung, $16^2/_3$ Perioden, 1000 Volt.						
Aufnahme, in Kilowatt . .	65	92	122	154	190	228
,, in Kilovolt-Ampère	265	395	530	670	810	950
Leistungsfaktor	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Einphasen-Serie-Kommutatormotor der MF Oerlikon, 12 WB, für 1000 PS Stundenleistung, 15 Perioden, 500 Volt.						
Aufnahme, in Kilowatt . .	20,5	60	97,5	140	190	250
,, in Kilovolt-Ampère	138	280	420	560	700	860
Leistungsfaktor	0,15	0,19	0,23	0,25	0,27	0,29

(Diese Motoren sind dieselben, auf welche sich die charakteristischen Kurven auf Seite 24—27 beziehen.)

Mit der Möglichkeit, die doppelte normale Zugkraft als Anfahrzugkraft zu entwickeln, sind allerdings nicht alle wünschenswerten Bedingungen für richtiges Anfahren durch die Motoren erfüllt. Wenn die für das Anfahren aufgenommenen *Leistungen* nicht allzu hohe Werte erreichen und damit, besonders bei Wasserkraftbetrieb, die Stromlieferung erschweren sollen, so soll nicht mit konstanter Zugkraft beschleunigt, sondern die beschleunigende Zugkraft und die Beschleunigung allmählig vermindert werden, damit ein gewisser Höchstwert der Anfahrleistung nicht überschritten werde. Das ist bei allen Motoren möglich, jedoch, wie die Regulierung der Anfahrzugkraft überhaupt, in verschiedener Weise:

Beim Gleichstrommotor ist ausser der Serie-Parallelschaltung für den Beginn der Beschleunigung die unökonomische Verwendung der Vorschaltwiderstände erforderlich, beim Drehstrominduktionsmotor dasselbe oder eine Regelung der Statorspannung neben der Stufenschaltung; für den Einphasenkollektormotor wird die ökonomische Regulierung durch den Reguliertransformator oder durch Veränderung der Bürstenstellung verwendet. Im ganzen ist die Aufnahme an, die Zuleitungen etc. belastender Stromstärke bei allen drei Motorenarten für das Anlaufen mit der, als erforderlich angenommenen doppelten Normal-Zugkraft ungefähr dieselbe, die Watt-Aufnahme dagegen, welche für die Leistung der Wasserwerke ihre Bedeutung hat, beim Einphasenmotor am kleinsten.

Die beim Anfahren (besonders dem gleichzeitigen mehrerer Züge) leicht eintretende Senkung der Spannung am Kontaktdraht hat beim Gleichstrom und Einphasenstrom praktisch keine Bedeutung, da nur ein kleiner Teil der Spannung für das Anfahren erforderlich ist, während beim Drehstrom für die Erzielung eines genügenden Anfahrmomentes sehr auf nicht zu grossen Spannungsabfall der Leitung gehalten werden muss.

4. **Die Möglichkeit der Mehrfachtraktion.** Nicht nur bei Motorwagenbetrieb, sondern auch beim Betrieb mit Lokomotiven wird für einen rationellen Betriebsdienst besonders bei den sehr stark wechselnden Verhältnissen unseres Landes, die Möglichkeit der Mehrfachtraktion

verlangt werden. Die Einrichtung einer gemeinsamen Steuerung mehrerer Motoren von zentraler Stelle aus, auch wenn die Motoren in verschiedenen Fahrzeugen sich befinden, bietet heute keine Schwierigkeiten mehr; die indirekten Mehrfachsteuerungen haben sich bewährt und können für alle Systeme in Anwendung kommen; sie gestatten die Verwendung eines einzigen Führers für beliebig viele Triebwagen oder Lokomotiven im Zuge. Sie sind namentlich in allen nordamerikanischen und auch europäischen Stadt- und Vorortbahnen seit Jahren in sehr grosser Zahl in Verwendung und haben sich auch für Fälle schwerster Traktion (z. B. New Yorker Untergrundbahn) glänzend bewährt, neuerdings auch bei Einphasenmotoren (Hamburg-Altona, Central-Illinois etc.). Ausserdem ist aber das richtige Zusammenarbeiten der Motoren selbst nötig.

Bei den Seriemotoren, sowohl für Gleichstrom wie für Einphasenwechselstrom, macht das Zusammenarbeiten mehrerer Motoren auf verschiedene Triebachsen, auch in verschiedenen Triebfahrzeugen, keine Schwierigkeit; selbst bei ungleichen Motoren verteilen sich die Leistungen entsprechend der Leistungsfähigkeit. Es ist dazu nach praktischen Betriebserfahrungen (Montreux-Berner Oberland-Bahn mit Gleichstrom, Spiez-Frutigen mit Einphasenstrom) nicht einmal eine zentrale Steuerstelle, d. h. eine Vielfachsteuerung, nötig, sondern es können voneinander getrennte Triebwagen auch einzeln gesteuert gut zum Zusammenarbeiten gebracht werden durch die Führer der verschiedenen Triebwagen.

Bei den Drehstrominduktionsmotoren ist dagegen die Geschwindigkeit durch die Periodenzahl derart bestimmt, dass wegen der kleinen Schlüpfung eine relativ sehr geringe Abnahme der Geschwindigkeit bei zunehmender Leistung eintritt. Sind also z. B. Differenzen in den Durchmessern der verschiedenen Radbandagen oder in den Uebersetzungsverhältnissen, überhaupt verschiedene Triebradabwicklungen für gleiche Umdrehungszahl der Motoren an den verschiedenen Stellen vorhanden, so dass den Motoren verschiedene Umdrehungszahlen aufgezwungen werden, so wird die rascher laufende Maschine ihren Anteil an der Leistung nicht voll übernehmen, und sogar schon bei relativ kleinen Differenzen, wenn diese die Schlüpfung über-

schreiten, zum Generator werden können, unter Ueberlastung des andern Motors. Ein in der Praxis anwendbares Mittel hiergegen bestände in dem Ausgleich durch Rotorwiderstand, der aber Energieverluste brächte. Die praktische Erfahrung bei der Burgdorf-Thun-Bahn scheint jedoch zu zeigen, dass dieser theoretisch unvermeidliche Nachteil bei der immerhin vorkommenden Grösse der Schlüpfung in Wirklichkeit zu keinen schädlichen Belastungsungleichheiten oder merklichen Nachteilen führt. Auch bei der Great Northern Railway sollen seit 1909 mit indirekter Steuerung in Betrieb befindliche Drehstromlokomotiven, deren Anordnung nach genannter Richtung derjenigen getrennter Triebfahrzeuge gleichkommt, keine derartigen Nachteile zeigen.

Die Mehrfachtraktion kann somit bei allen Systemen als durchführbar bezeichnet werden, immerhin sicherer bei Einphasenstrom und Gleichstrom als bei Drehstrominduktionsmotoren.

Vergleich der Systeme in Bezug auf technische Wirtschaftlichkeit.

Ausser mit Bezug auf die Anforderungen, die der Bahnbetrieb als solcher und rein technisch an die Traktionssysteme stellt, sind die verschiedenen Systeme daraufhin zu vergleichen, wie sie die *Erfordernisse der Wirtschaftlichkeit* befriedigen. Dabei haben wir zunächst die *rein technische Wirtschaftlichkeit* im Auge, die sich etwa durch folgende Punkte ausdrückt:

1. Totgewicht der Triebvorrichtungen selbst;
2. Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad der Systeme;
3. Möglichkeit des Ausgleichs der Schwankungen im Leistungsbedarf mit Rücksicht auf die Kraftquellen;
4. Verhältnis der Energierückgewinnung.

1. **Das Totgewicht der Motoren, der ganzen motorischen Ausrüstungen und Triebfahrzeuge** wurde bisher meistens auf die Einheit der *Leistung* in Pferdestärken bezogen. Die zu erzielenden Geschwindigkeiten beeinflussen aber solche Ziffern bedeutend; um dies zu berücksichtigen,

bezieht man ebenso gut oder besser das Gewicht auf das *Drehmoment* der Triebmittel in mkg, m. a. W. auf die *Zugkraft*, wie bisher bei den Dampflokomotiven üblich. Unser Mitarbeiter Dr. W. Kummer hat an einem für schweizerische Verhältnisse typischen Beispiel gezeigt[1]) wie für die Dimensionen der Triebfahrzeuge das zu erzeugende Drehmoment die richtige Vergleichsziffer liefert; ein proportionaler Zusammenhang mit der Leistung kann demgemäss näherungsweise nur noch angenommen werden bei Vergleich von Fahrzeugen mit ungefähr gleichem Dienst, also z. B. für Motorwagenausrüstungen von Ueberlandbahnen unter sich, für Lokomotiven für Güterzüge unter sich, für Schnellzüge unter sich u. dergl.

Es sind deshalb in den *Tabellen über ausgeführte Triebfahrzeuge* zu Seite 10 die letztern so in Gruppen geordnet. Die älteren Konstruktionen sind innerhalb der Gruppen zu Anfang, die neuesten am Ende aufgeführt.

Es liefern übrigens, bezüglich des Totgewichts beide Betrachtungsarten qualitativ dasselbe Resultat der Vergleichungen: Die Eigenart der Einphasenkollektormotoren und die Notwendigkeit, bei diesem Systeme Transformatoren auf dem Fahrzeug zu verwenden (womit allerdings gleichzeitig für die beste Geschwindigkeitsregulierung gesorgt ist), lässt schon theoretisch übersehen, dass das spezifische Triebmittelgewicht, von beiden genannten Gesichtspunkten aus betrachtet, beim Einphasensystem grösser sein muss als bei den anderen.

Ebenso ist theoretisch zu erwarten, dass Gleichstrom und Drehstrom sich in diesem Punkte ungefähr gleich stellen. Dabei treten allerdings bei den neueren Ausführungen, wenn man solche für analoge Verhältnisse vergleicht, nur noch unwesentliche Unterschiede auf. Innerhalb eines und desselben Systems finden sich dagegen relativ wesentliche Unterschiede, die ausser durch allgemeine konstruktive Fortschritte besonders aus der Grössenordnung der Motoren, bezw. Ausrüstungen, sowie auch aus der Anwendung oder Nichtanwendung der künstlichen Kühlung entstehen, mittels welcher die Leistung pro Gewichtseinheit sich bei allen drei Systemen wesentlich erhöhen lässt.

[1]) Schweizer. Bauzeitung, 1909, LIV, S. 300, und Elektr. Kraftbetriebe und Bahnen, 1909, S. 716.

Die Zahlen in den der Seite 10 beigefügten Tabellen erweisen die Richtigkeit dieser Betrachtungen und zeigen, dass man für moderne Ausführungen und sorgfältige Projekte ziemlich sicher mit den nachstehenden Gewichten der Lokomotiven, bezw. der gesamten elektrischen Ausrüstung von Motorwagen bei Anwendung der angenommenen und beschriebenen Reguliermittel für die angeführten drei Systeme rechnen darf:

Spezifisches Gewicht pro PS Leistung bezw. mkg Drehmoment	Bei Anwendung von		
	Gleichstrom	Drehstrom	Einphasenstrom
Von elektrischen Lokomotiven für ca. 40—60 km/Std. . .	50-55 kg/PS 11 kg/mkg	45-60 kg/PS 10-12 kg/mkg	50-75 kg/PS 11-13 kg/mkg
Von elektrischen Motorwagenausrüstungen für ca. 40 km/Std.	28-30 kg/PS 6-7 kg/mkg	30-35 kg/PS 7-8 kg/mkg	30-35 kg/PS 7-8 kg/mkg

Alle drei elektrischen Traktionssysteme haben eine *ganz bedeutende Verminderung des toten Gewichts gegenüber der Dampftraktion* bereits heute erreicht; dies zeigt jeder Vergleich mit modernen Dampflokomotiven.

Unter sich sind in diesem Punkte Drehstrom und Gleichstrom für Lokomotiven wesentlich gleichwertig, Einphasenstrom um vielleicht 10 bis 20% ungünstiger. Für Motorwagenbetrieb verhalten sich Drehstrom und Einphasenbetrieb ungefähr gleich, Gleichstrom um etwa 5% günstiger. Der prozentuale Gewichtsunterschied der elektrischen *Triebmittel* macht nun aber überhaupt nur einen sehr geringen Unterschied im Gesamtgewicht der beförderten Züge aus; ausserdem entsprechen dem etwas grösseren Gewicht beim Einphasensystem bessere Regulierungsverhältnisse. Diese kleinen *Unterschiede* des Totgewichtes haben daher auf das Ganze beinahe gar keinen Einfluss, wohl aber die bedeutende Verminderung gegenüber den Dampftriebmitteln, wie sich später ergeben wird.

2. **Relativer Energieverbrauch und Wirkungsgrad der Systeme.** Durchaus vom System abhängig und nur bis zu einer bestimmten Grenze verbesserungsfähig ist von den

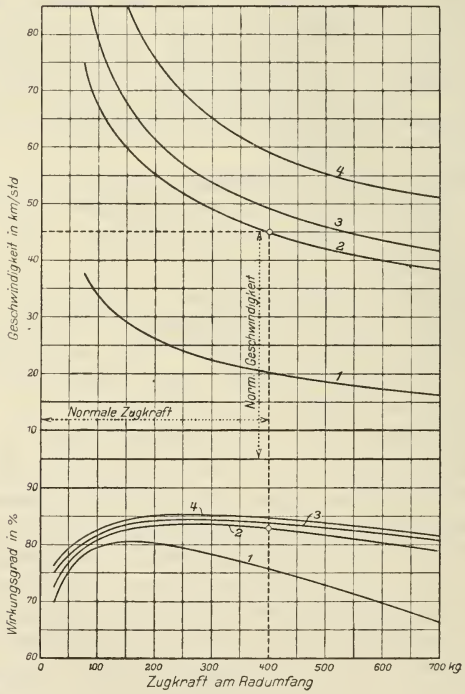
beim elektrischen Bahnbetrieb zur Geltung kommenden Wirkungsgraden wesentlich derjenige der *Motoren*, in geringerem Masse derjenige der Transformatoren-, Generatoren- und Umformeranlagen, denn bei diesen kann durch entsprechende Disposition bei einzelnen Systemen die Verwendung grösserer Einheiten in geringerer Zahl ermöglicht und dadurch der Wirkungsgrad dieser Anlagen sehr verbessert werden. Für die *Leitungen* hat man es technisch in der Hand, den Wirkungsgrad beliebig hoch zu machen. Der Wirkungsgrad der Leitungen und des Gesamtsystems bildet daher nur im Zusammenhang mit den Kosten für Betrieb, Unterhalt und Verzinsung ein Kriterium für den Vergleich der Systeme. Dies ist bei Vergleichung der Wirkungsgrade, die an sich demnach keine entscheidende Bedeutung haben, wohl zu beachten.

Die *Wirkungsgrade der Motoren* variieren für einen und denselben Motor sehr bedeutend mit der Benützungsart, den momentanen Betriebsverhältnissen. Sind sie, wie in der praktischen Verwendung der Fall, in ihrem Verhältnis „Zugkraft-Geschwindigkeit" regulierbar, so ist der Wirkungsgrad veränderlich einerseits mit dem Verhältnis der angewandten Zugkraft zur „normalen" (siehe Seite 24—27), anderseits mit dem Verhältnis der angewandten Geschwindigkeit zur normalen.

Ueber das Mass dieser Variationen und die absolute Höhe der Wirkungsgrade geben die nachfolgenden charakteristischen Kurven einiger, von Schweizer Firmen ausgeführten Bahnmotoren verschiedenen Systems Auskunft. Es handelt sich dabei ausschliesslich um Triebmittel, bei denen die Geschwindigkeitsregelung ohne irgendwelche Verluste in Regulierorganen (Vorschaltwiderständen) erreicht ist. Es sind die schon in der Tabelle über erreichbare Anfahrzugkräfte (Seite 17 bezw. 24—27) erwähnten Motoren. Die Wirkungsgrade begreifen auch die Verluste im Uebertragungsgetriebe in sich, und zwar handelt es sich um einfachen Zahnradantrieb beim Gleichstrommotor, um Antrieb mittels Parallelkurbelgetriebe beim Drehstrommotor und beim Déri-Motor, sowie um Antrieb mit Zahnradvorgelege und Kuppelstangen beim Einphasenmotor.

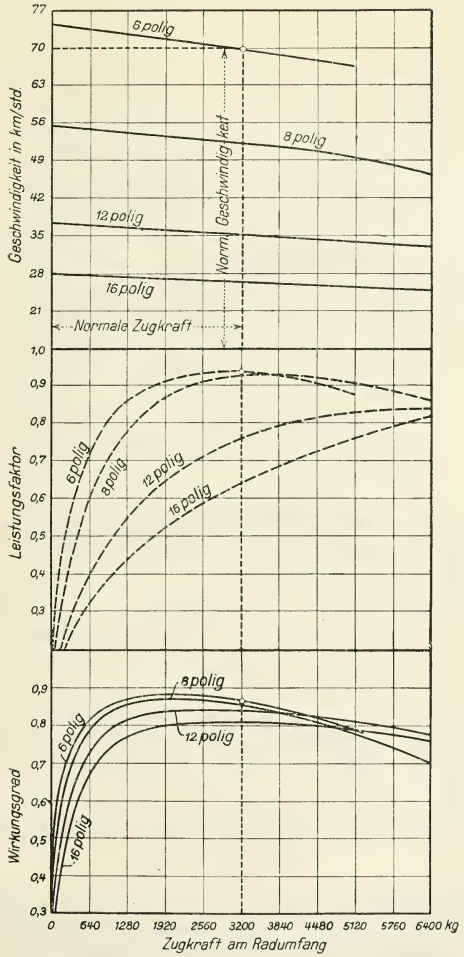
Graphische Darstellung der mechanischen Charakteristiken, des Leistungsfaktors und des Wirkungsgrads ausgeführter Bahnmotoren verschiedener Systeme bei rationeller Regulierung.

(Zugkraft und Geschwindigkeit, für welche der Motor normal gebaut ist, sind besonders markiert.)

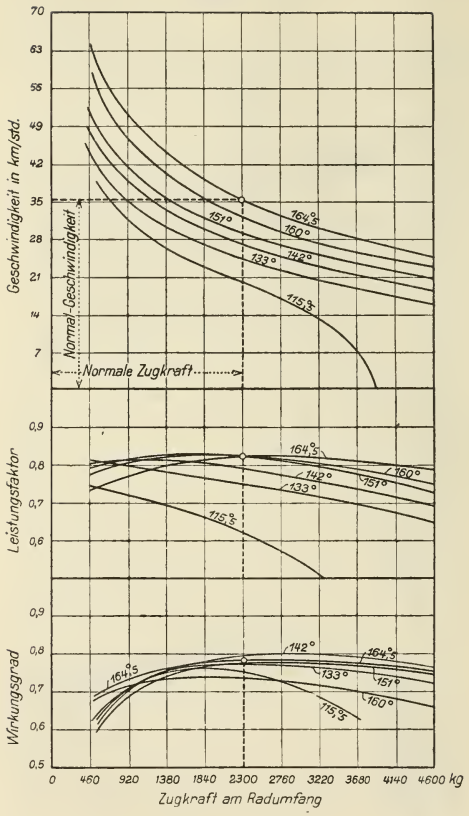


Gleichstrom-Serie-Bahnmotor der Elektrizitäts-Gesellschaft Alioth für 66,5 PS und 750 Volt.

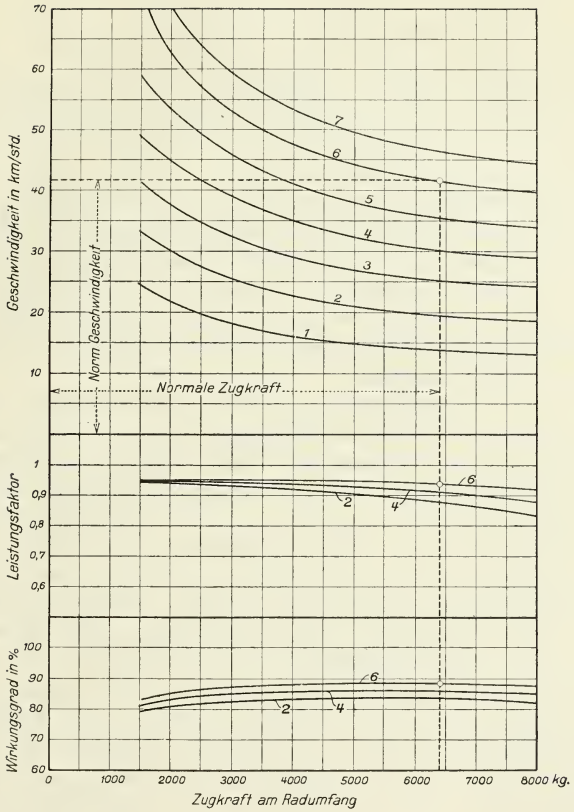
1 Bei Schaltung in Serie.
2 Bei Parallelschaltung.
3 Bei Parallelschaltung mit 30 % Shuntstrom.
4 „ „ „ 60 % „



Drehstrom-Induktions-Bahnmotor von 850 PS
bei 3000 Volt, 15 Perioden
der A.-G. Brown, Boveri & Cie.
mit vier Polumschaltungen.



Einphasen-Bahnmotor von 300 PS, 1000 Volt, $16^2/_3$ Perioden der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Bauart Brown, Boveri-Déri, bei sechs verschiedenen Bürstenstellungen.



Einphasen-Bahnmotor von 1000 PS, 500 Volt, 15 Perioden
der Maschinenfabrik Oerlikon,
bei 7 verschiedenen Klemmenspannungen.

Erhebliche Abweichung im Normal-Wirkungsgrade weisen naturgemäss Motoren gleicher Bauart, aber von verschiedener Grösse (Leistungsfähigkeit) auf, während die Wirkungsgrade zwischen Motoren verschiedener Stromart bei gleicher Normalleistung wenig voneinander abweichen. Die Untersuchung zahlreicher neuerer, ausgeführter Motoren ergibt, dass der Wirkungsgrad von Einphasenmotoren gleicher Verhältnisse bei Normalleistung beinahe derselbe oder höchstens einige Prozente kleiner ist als der von Drehstrom-Induktions- und Gleichstrom-Reihenschluss-Motoren.

Vergleichungen von Wirkungsgradkurven grösserer Motoren, wie sie für Normalbahnlokomotiven zur Verwendung kommen, zeigen, dass für solche Gleichstrom- und Drehstrommotoren moderner Art mit Wirkungsgraden von 0,9 bis 0,93 bei Vollbelastung gerechnet werden kann, und für entsprechende Einphasenmotoren höchstens 3 bis 4% weniger erzielt werden.

Bei allen Wechselstromsystemen tritt zwischen Strom und Spannung Phasenverschiebung ein, so dass bei gleicher Leistung und Spannung mehr Strom zuzuführen ist als bei Gleichstrom, was ein gewisser Nachteil für die Zuleitungen und Stromquellen ist, die deshalb grösser zu bemessen sind. Der *„Leistungsfaktor"*, der die Verminderung des effektiven Stromwerts ausdrückt, wechselt in analoger Weise mit der Benützungsart, wie der Wirkungsgrad. Die vorstehenden Kurven geben auch diese Verhältnisse für die angeführten Motoren an.

Der Leistungsfaktor erweist sich in den Beispielen wie überhaupt in praxi beim Einphasenmotor, und besonders beim Reihenmotor und namentlich bei kleinen Geschwindigkeiten (Anfahren) als grösser als bei den andern Motoren für Dreh- und Wechselstrom. Da indessen bei allen Wechselstromsystemen, besonders aber beim Einphasenstrom, viel grössere Fahrdrahtspannungen und damit überhaupt geringere Stromstärken zur Verwendung kommen können als bei Gleichstrom, so verliert der Umstand des geringen Leistungsfaktors seine Bedeutung für die Leitungen vollständig, zum mindesten beim Einphasenstrom.

Der Wirkungsgrad der Motoren mit Getriebe, wie er im vorigen behandelt, fällt mit dem *Wirkungsgrad des Trieb-*

mittels samt Reguliervorrichtungen zusammen, wenn es sich um Systeme handelt, bei denen die Geschwindigkeitsregelung ohne irgendwelche zusätzliche Verluste in Regulierorganen erreicht ist. Wie früher gezeigt, ist bei Gleichstrom diese Geschwindigkeitsregelung beim Vorhandensein von 2 oder 4 Motoren im Zuge durch die Serieparallelschaltung möglich, beim Drehstrom durch die Polumschaltung, beim Einphasenstrom durch den Reguliertransformator beim Seriemotor, und durch Bürstenverschiebung beim Déri-Motor. Bei Gleich- und Drehstrom wird dadurch nur eine Reglierung in einigen *Stufen* erzielt. Daneben wird nun aber tatsächlich unter Umständen auch in der Fahrt und während längerer Zeit die Verwendung von *Widerständen* zur Erzielung zwischenliegender Geschwindigkeiten bei den Gleichstrommotoren und den Drehstrominduktionsmotoren nicht vermieden werden können, wobei dann bedeutende *Verluste in den Widerständen* hinzukommen. Dann sinkt der *Gesamtwirkungsgrad samt Reguliervorrichtungen* wesentlich, und so verschwindet der wegen besserem Wirkungsgrad und höherem Leistungsfaktor der Motoren für sich allein beim Gleichstromsystem gegenüber dem Wechselstromsystem scheinbar vorhandene Vorzug, und es kommt hierin auch der Drehstrom in Nachteil gegenüber dem Einphasenstrom. Bei den neueren Drehstromausführungen für *grosse* Motoren, den Lokomotiven des Simplon z. B., kommt man allerdings mit der Polumschaltung allein, ohne grosse zusätzliche Rotorwiderstände, aus, und für derartige Verhältnisse würde daher der erwähnte Nachteil beim Drehstrom nicht auftreten.

Untersucht man dieselben Verhältnisse beim *Anfahren*, die freilich wegen ihrer kurzen Dauer den Wirkungsgrad des Systems, bezogen auf längere Zeiten, wenig merklich beeinflussen, so zeigt sich der Unterschied der drei Systeme analog, nur in verstärktem Masse.

Praktische Messungen über den *Wirkungsgrad der ganzen Triebfahrzeuge samt Reguliermechanismen* oder den *Wirkungsgrad ganzer Züge* müssten diese theoretischen Erwägungen bestätigen können. Für einwandsfreie Vergleichsresultate müsste man ein und dieselbe Bahn unter den gleichen Verhältnissen nacheinander mit den verschiedenen Systemen betreiben und dabei Messungen anstellen können, was praktisch unmöglich ist. Man ist also auf Beobachtungen

über verschiedene Systeme an *verschiedenen* Bahnen angewiesen. Solche Ermittlungen können die in Wirklichkeit vorkommenden *mittleren* Belastungen der Motoren und Benützungsgrade der Reguliervorrichtungen zur Geltung bringen. Die zahlenmässige Würdigung solcher Messungen ist aber ausserordentlich schwierig. Denn es kommen dabei die besonderen Betriebs- und Profilverhältnisse der betreffenden Bahn als ganz wesentlich beeinflussende Faktoren zur Wirkung.

Wir haben eine Anzahl solcher Beispiele nach Messungen in praktischen Betrieben gesammelt und nebenstehend zusammengestellt; diese Angaben sind aber mit der vorstehenden Reserve, als Werte von spezieller Bedeutung, zu beurteilen.

Die Würdigung der Resultate solcher Messungen ist freilich ausserordentlich schwierig; es muss dabei mit grosser Vorsicht vorgegangen werden. Denn es kommen dabei die besonderen Betriebs- und Profilverhältnisse der betreffenden Bahn als ganz wesentlich beeinflussende Faktoren zur Wirkung; für einwandsfreie Vergleichsresultate müsste man ein und dieselbe Bahn unter den gleichen Verhältnissen nacheinander mit den verschiedenen Systemen betreiben und dabei Messungen anstellen können, was praktisch unmöglich ist.

Aus den Zahlen der Tabelle kann immerhin, wie aus weiteren praktischen Ergebnissen, geschlossen werden, dass die vorstehenden theoretischen Erwägungen über den Wirkungsgrad der ganzen Triebmittel und Züge richtig sind, und dass etwa folgende *mittlere Wirkungsgrade der Züge* für neuere Ausführungen angenommen werden können bei Verwendung von

Gleichstrom:	Drehstrom:	Einphasenstrom:
0,70—0,80	0,65—0,70	0,68—0,75

Diese Zahlen gelten ohne eine allfällige Rückgewinnung von Energie auf Gefällen, von welcher später die Rede sein wird.

Besondere Versuche über die *Verluste in Regulierwiderständen* ergaben bei der Gleichstrombahn Freiburg-Murten für volle Hin- und Herfahrt eines Zuges als Betrag dieser Verluste zirka 13%, bei der Burgdorf-Thun-Bahn mit Dreh-

Errata.

In der Mitteilung Nr. 4 der Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb sind folgende Errata zu korrigieren:

In der Tab. zu pag. 30 unter „Bemerkungen“:

1. Bei „Giovi-Linie“, in der zweiten Zeile anstatt „Mit Rückgewinnung“ soll es heissen: „Bei Rückgewinnung, wobei 0,38 den Wirkungsgrad der Rückgewinnung selbst, nicht etwa derjenige «mit Rückgewinnung» bedeutet“.

2. Bei „Seebach-Wettingen“ ist „Meterspur“ zu streichen.

3. Bei „Stubaital“ ist „Meterspur“ zu ergänzen.

Spezifischer Arbeitsverbrauch und Wirkungsgrade bei einigen bestehenden elektrischen Bahnbetrieben.

Bahnanlage	Zugrundegelegter Rollwiderstand	Arbeitsverbrauch in Wattstunden pro Tonnen-Kilometer			Wirkungsgrade			Bemerkungen
		am Radumfang berechnet	am Speisepunkt gemessen	ab Kraftstation gemessen	Radumfang bis Speisepunkt	Radumfang bis Abgang Kraftstation	der Umformung	
Gleichstrom.								
Milano-Varese-Porto Ceresio	5	22,7	—	42	—	0,54	—	Umformung und mit Batterien, Geschwindigkeit bis 50 km/Std.
Paris-Orsay bis Paris-Austerlitz	4	19,7	28,4	36,5	0,69	0,51	0,78	40—50 km/Std.
Paris-Austerlitz bis Juvisy	6	29,8	39	52,3	0,77	0,57	0,74	Bis 75 km/Std.
Paris-Versailles	5	30,2	43	61,5	0,70	0,49	0,70	Umformung und ohne Batterien bis 55 km/Std.
Paris-Metropolitain	5	48,5	70,5	79,3	0,69	0,61	0,89	Umformung und mit Batterien.
Liverpool-Merseytunnel	5	46,3	66,5	66,5	0,695	—	—	Direkte Gleichstromerzeugung.
Lancashire & Yorkshire Railway (Liverpool-Southport)	Schnellzüge 6	19,1	23,5	—	0,81	—	—	Bis 90 km/Std.
	Personenzüge 5	36,3	49	—	0,74	—	—	Bis 60 km/Std.
North Eastern	—	—	37,7	43,3	—	—	0,87	Umformung und ohne Batterien und ohne Fernleitung der Hochspannung.
Freiburg-Murten-Ins	5	29	44	—	0,66	—	—	Bis 40 km/Std.
Berlin-Grosslichterfelde (Ost)	5	28,5	37,4	37,4	0,76	—	—	Direkte Gleichstromerzeugung bis 50 km/Std.
St. Georges-La Mûre	7	46,2	59	—	0,78	—	—	Direkte Gleichstromerzeugung.
Neuchâtel-Cortaillod-Boudry	7	30,5	—	48	—	0,61	—	Umformung und mit Batterien.
Montreux-Berner-Oberland	7	55,2	—	124	—	0,46	—	
St. Gallen-Trogen	8	77,2	109	138	0,72	0,56	0,79	Umformung und ohne Hochspannungsfernleitung.
Drehstrom.								
Burgdorf-Thun-Bahn	4	28,6	42,1	—	0,68	—	—	Motorwagen.
	4	28,6	42,5	—	0,67	—	—	Lokomotive.
	4	28,6	—	93,6	—	0,31	—	Tagesmessung.
	4	28,6	—	68	—	0,42	—	Tagesmessung.
Veltlinbahn	5	20	—	58	—	0,345	—	Nach Diagramm.
	5	20	—	(44,5)	—	(0,45)	—	
	5	17	—	35	—	0,485	—	Einzelfahrten.
	5	20	31	—	0,65	—	—	
Stansstaad-Engelberg	7	55,5	—	115	—	0,483	—	Teils einfache Transformatoren, Meterspur.
Giovi-Linie der «Ferrovie dello Stato»	5	44,4	—	59,0	—	0,75	—	Ohne Rückgewinnung — Gleicher Verkehr in beiden Richtungen.
	5	15,7	—	41,5	—	0,38	—	Mit Rückgewinnung
Einphasenstrom.								
Murnau-Oberammergau	4	29,2	—	43	—	0,68	—	Ohne Transformatoren bis 20 km/Std.
Seebach-Wettingen (Messfahrten, im Betrieb)	5	18,5	—	29,2	—	0,63	—	Umformer-Lokomotive, Kollektormotoren-Lokomotive mit Transformatoren, Meterspur.
	5	17,7	25	—	0,71	—	—	
	5	20,8	30	—	0,70	—	—	
Stubaital	8	49	70	—	0,70	—	—	
Maggiatal	7	31,3	—	51,8	—	0,60	—	Ohne Transformatoren, Meterspur.
	7	31,3	—	53,2	—	0,59	—	
Spiez-Frutigen	5	23,4	—	40,0	—	0,59	—	
Dessau-Bitterfeld	5	16	24	—	0,67	—	—	

strominduktionsmotoren ohne Polumschaltung zirka 14% der totalen vom Zuge aufgenommenen Energie. Das zeigt zum mindesten, dass ein System, das solche Widerstände vermeiden kann, einen wesentlichen Vorteil besitzt.

Der *Wirkungsgrad der Kontaktleitungen* lässt sich unter Kostenaufwand beliebig hoch gestalten, also nach Wirtschaftlichkeit regeln. Dabei sei nochmals erinnert, dass der Spannungsverlust für Gleichstrom und namentlich für Drehstrominduktionsmotoren innert engeren Grenzen als bei Einphasenstrom zu halten ist, so lange hier, wie es immer der Fall sein wird, ein Stufentransformator die Spannungsregelung gestattet. Für die *Fernleitungen* zu den Speisepunkten oder Umformerwerken verhalten sich die Wirkungsgrade bei allen drei Systemen gleich.

Die wichtigste Rolle bei den *Wirkungsgraden* spielen die *Einrichtungen zur Umformung des Stromes im weiteren Sinne des Wortes*. Sie bestehen beim Gleichstromsystem aus Werken mit rotierenden Umformern von hochgespanntem Drehstrom auf Gleichstrom, mit oder ohne Pufferbatterien. Erfahrungen zeigen, dass deren Jahres-Wirkungsgrad je nach den Verhältnissen zwischen etwa 0,70 und 0,90 schwankt und dass die durch Pufferbatterien erzielte Verbesserung des mittleren Wirkungsgrades der Maschinengruppen im allgemeinen kompensiert wird durch die Verluste in den Batterien selbst. Die Vorteile dieser „Pufferung" liegen mehr an anderem Orte, wovon später gesprochen wird.

Bei Drehstrom und Einphasenstrom sind, von allfälliger Pufferung abgesehen, die Umformeranlagen lediglich Transformatorstationen, in denen nur die Spannung verändert wird. Die Transformatoren haben mit der Leistung veränderliche, im Mittel daher geringe Verluste in den Kupferbewicklungen, und von der Belastung unabhängige, konstante Verluste im Eisen. Der Wirkungsgrad von Transformatoren in der bei bisherigen älteren elektrischen Bahnen zur Verwendung kommenden Art und Grösse lag bei voller Leistung etwa zwischen 88 und 95%, aber der „Jahreswirkungsgrad", das Verhältnis der im ganzen Jahre erhaltenen nützlichen zur hineingesteckten Energie, war dennoch sehr schlecht, weil der Verlust im Eisen das ganze Jahr hindurch in gleicher Höhe entsteht. Nach Messungen

betrug z. B. der Jahreswirkungsgrad der Transformatorstationen bei den Drehstrombahnen: Burgdorf-Thun nur 60, Veltlinbahn gar nur 45%. Daraus darf indessen nicht gefolgert werden, dass bei den Drehstrombahnen oder auch den Einphasenbahnen immer mit so hohen Verlusten in den stationären Transformatoren zu rechnen sei. Je höhere Fahrdrahtspannung angewendet werden kann, desto weiter können die Transformatorenstationen voneinander entfernt werden. Sie umfassen dadurch ein grösseres Gebiet, für welches die Maximalleistung, für die sie ausreichen müssen, viel näher der mittleren Leistung liegt als bei einem kleineren Gebiete. Die gesamte aufzustellende Transformatorenleistung wird dabei geringer, und damit auch die Verluste im Eisen. Es kommen so aber auch grössere Transformatoreneinheiten zur Aufstellung, die an sich schon wieder weniger Verluste haben als die kleineren.

Damit ist gleichzeitig klar, dass ein System, das relativ grössere Fahrdrahtspannung anwenden kann, wesentlich weniger Energieverlust in den Transformatorenstationen ergibt als ein solches, das auf kleinere Fahrdrahtspannung beschränkt ist, Einphasenstrom also hierin im Vorteil ist gegenüber dem Drehstrom.

Für beide Systeme können heute Fahrdrahtspannungen verwendet werden, die viele Male grösser sind als die der vorerwähnten zwei Drehstrombahnen; Entfernung und Grösse der Transformerstationen der heute möglichen Dreh- und Wechselstrombahnen und damit die Wirkungsgrade der Transformerstationen derselben sind daher heute viel günstiger.

Berechnungen und bisherige Erfahrungen führen so zum Ergebnis, dass in mittleren Verhältnissen ungefähr folgende Zahlen angenommen werden können als

Wirkungsgrade der drei Systeme
bezogen auf die Tages- und Jahres-Energie:

	Gleich-strom	Dreh-strom	Einphasen-strom
Für die Züge (Fahrzeuge) . .	0,70-0,80	0,65-0,75	0,68-0,75
Für Fahrleitung und Schienen .	0,94-0,98	0,94-0,98	0,94-0,98
Für Umformung in Maschinen (eventuell m. Transformation)	0,70-0,90	—	—
Für Transformierung:			
(in Transformern alter Bauart)	—	(0,70-0,80)	(0,80-0,90)
(in neuartigen Transformern)	—	0,80-0,90	0,90-0,95
Für die Hochspannungs-Übertragungsleitungen	0,90-0,95	0,90-0,95	0,90-0,98
Für das ganze System: von den Ausführungen des Stroms aus den Kraftwerken bis an den Triebradumfang	0,42-0,67	0,44-0,63	0,53-0,63

Diese Zahlen zeigen, dass die Unterschiede im Wirkungsgrad der Systeme im Mittel nicht sehr bedeutend sind, die Werte innerhalb eines Systems je nach den Verhältnissen dagegen stark schwanken. Verglichen mit Wechselstromsystemen mit älteren Transformatoren war eine entschiedene Ueberlegenheit des Gleichstroms vorhanden, mit den Transformatoren mit legierten Blechen ist sie beinahe verschwunden, kann allerdings in Fällen sehr guter Ausnützung der Umformerwerke (deren Wirkungsgrad in den weitesten Grenzen schwankt) noch vorhanden sein.

Sucht man den *mittleren Jahres-Wirkungsgrad von den Turbinenwellen aus bis zum Radumfange*, so sind obige Zahlen noch mit dem Jahreswirkungsgrad der Generatoren und Auftransformatoren zu multiplizieren. Dieser fällt beim Drehstromsystem wegen grösserer Maximalleistung für dieselbe Jahresarbeit etwas schlechter aus als bei Einphasen- und Gleichstrom, so dass schliesslich der Drehstrom einen geringern Gesamtwirkungsgrad als die andern Systeme zeitigt, wie besonders die von der Studienkommission ausgeführten Projekte dartaten. Für sich allein entscheidende Bedeutung haben diese Unterschiede nicht.

3. **Die Möglichkeit des Ausgleichs der Schwankungen im Leistungsbedarf.** Dieser Punkt ist für die Anordnung

der Kraftwerke sehr wichtig und erlangt speziell für unsere Elektrifizierung mit Betrieb durch die einheimischen Wasserkräfte die allergrösste Bedeutung. Den Idealzustand einer Fahrordnung für den elektrischen Betrieb, bei dem die Transportarbeit über die ganze Zeit gleichmässig mit vielen gleichen Zügen verteilt würde, und bei welchem nur noch das Längenprofil Anlass zu wesentlichen Schwankungen des Leistungsbedarfs geben würde, wird keine Bahn voll verwirklichen können, wenn auch die allmählige Annäherung an diesen, eigentlich auch den Anforderungen des Verkehrs günstigen Zustand, in späterer Zukunft noch grosse Vorteile bringen kann. Vorläufig und wohl noch für lange kommt auch bei uns auf den Hauptbahnen der starke Einfluss zeitlich zusammengedrängter, schwerer und rasch fahrender Schnellzüge, die zeitweise besonders grosse Leistungen erfordern, erschwerend zur Geltung. Wie leicht einzusehen ist, wird je nach Ausdehnung, Verkehrsmenge und Längenprofil einer Strecke oder eines Netzes das *Verhältnis der maximalen zur mittleren erforderlichen Leistung* in sehr weiten Grenzen schwanken, und dasjenige System wird für uns einen besonders grossen Vorteil aufweisen, das technisch und namentlich wirtschaftlich diese Schwankungen am leichtesten, mit geringster Erschwerung für die Wasserkraftwerke, aufnehmen kann.

Untersuchungen hierüber haben zunächst die genannte Verhältniszahl als eine, die vorkommenden Leistungsschwankungen charakterisierende und für die Leistungsfähigkeit der Kraft-Produktions- und Verteilungsanlagen massgebende Grösse zu ermitteln. Dass dieses Verhältnis mit wachsender Anzahl gleichzeitig ins Spiel tretender Züge, also mit zunehmender Grösse des betrachteten Bahnnetzes abnimmt, ist klar. Hier kommt die Grösse desselben einerseits für das Gebiet einer Speisestation, anderseits für das Gesamtgebiet das von einem Kraftwerke aus gespeist wird, in Frage. Es liegen für diese Zahl wenige praktische Erfahrungen von Vollbahnen vor; sie lässt sich aber, wie schon angedeutet, und bei den Gotthardprojekten, Seite 76, näher angegeben, errechnen.

Die Resultate umfangreicher solcher Rechnungen der Studienkommission, sowie einige praktische Messungs-

ergebnisse von Bahnen, die unsern Normalbahnen nahe kommen, zeigt die nachstehende Tabelle.

Verhältnis zwischen der beanspruchten maximalen Leistung und der mittleren Leistung.

A. Nach *Berechnungen* der Studienkommission, die mittlere Leistung auf durchgehenden (24stündigen) Betrieb bezogen, und die Leistungen gerechnet *am Radumfang:*

a) für den Dampfbetrieb wie 1904 für Netze mit einer Verkehrsarbeit, bezogen auf das Gesamtzugsgewicht, von Brutto-Tonnenkilometern per Tag:

500 000	bis	1 000 000	. . . . .	3,8	bis	6,8
1 000 000	,,	2 000 000	. . . . .	3,5	,,	5,2
2 000 000	,,	3 000 000	. . . . .	3,2	,,	4,0
3 000 000	,,	5 000 000	. . . . .	3,3	,,	4,0
5 000 000	,,	10 000 000	. . . . .	3,3	,,	4,2
10 000 000	,,	30 000 000	. . . . .		3,15	

b) Für elektrischen Zukunftsbetrieb für das Netz

Gotthardbahn südlich des Gotthard (ca. 3,46 Millionen tkm per Tag)	3,3
Gotthardbahn nördlich des Gotthard (ca. 1,91 Millionen tkm per Tag)	4,4
Gotthardbahn insgesamt (ca. 5,37 Millionen tkm per Tag)	3,3
S. B. B. II (ca. 8,02 Millionen tkm per Tag)	3,1

B. Nach *Beobachtungen* an bestehenden elektrischen Bahnen, die mittlere Leistung auf die wirkliche Betriebszeit (18—20 Std. per Tag) bezogen, und die Leistungen gerechnet *ab Kraftwerk:*

Burgdorf-Thun (ca. 70 000 tkm per Tag)	3,8
Veltlinbahn (ca. 264 000 tkm per Tag)	2,9
Le Fayet-Chamonix (ca. 210 000 tkm per Tag)	3,6

Haben die Kraftwerke die erforderliche Maximalleistung direkt zu liefern, so muss ihre Leistungsfähigkeit also für unsere Verhältnisse etwa das dreieinhalbfache der mittleren Leistung sein und ihre Maschinen werden nur zu etwa ein Drittel ausgenützt. Dieser bei Bahnkraftwerken auftretende Umstand hat von jeher nach *Anordnungen* suchen lassen, bei denen in Momenten geringen Leistungsbedarfs die aus gleichmässig arbeitender Kraftquelle überschüssige Energie in der Nähe des Bahnnetzes *aufgespeichert* und in den Augenblicken grossen Bedarfs zur Erhöhung der Leistung der Quelle verwendet werden kann, also sogenannte

Pufferungsanlagen. Als wirklich verwendbare solche Einrichtungen kommen *elektrische Akkumulatoren* und *hydraulische Akkumulationen* (Wasserreservoirs mit Pumpen- und Turbinenanlagen) in Betracht. Die Speicherung durch Schwungmassen an den Maschinen oder in der lebendigen Kraft der fahrenden Züge, die theoretisch zu erwägen, ist praktisch ganz belanglos.

Diese *Pufferanlagen* fallen *bei den verschiedenen Stromsystemen* nicht gleich aus:

Akkumulatoren zur Pufferung können bei Gleichstrom ohne weiteres mit den nötigen Umformerwerken vom Uebertragungs-Drehstrom auf den Fahrdraht-Gleichstrom verbunden werden, in der Weise, dass jede Umformungsstelle gleichzeitig Pufferungsstelle mit einer Akkumulatorenbatterie ist, oder auch so, dass „zentral" gepuffert wird in einem Zwischenwerk, das mehrere Umformerstationen speist, also im Gebiet des Hochspannungsdrehstroms liegt. In letzterem Falle wird das Verhältnis zwischen maximaler und mittlerer Leistung kleiner, damit auch die Batterie und die mit Verlust durch dieselbe zu puffernde Energiemenge, dagegen sind dabei besondere Maschinen für die Pufferanlagen nötig, ähnlich wie dies überhaupt der Fall ist bei der Verwendung der Pufferung im System mit Drehstrom oder mit Einphasenstrom am Fahrdraht: Die Zentralpufferstation muss ständig laufende Umformer von Drehstrom, bezw. Einphasenstrom auf Gleichstrom für die Batterie erhalten.

Die *Wasserpufferung* erfordert die Möglichkeit eines hoch gelegenen Druckreservoirs. In dieses werden, durch

Hochspannungsmotoren angetriebene Zentrifugalpumpen unter konstanter Leistung so viel Wasser fördern, d. h. Arbeit aufspeichern, als über die vom Netz beanspruchte, direkt und konstant zugeführte minimale Leistung hinaus (mit Berücksichtigung der Wirkungsgrade) nötig ist. Durch dies Speicherwasser gespeiste Hochdruckturbinen werden, gekuppelt mit Generatoren, den fortwährend wechselnden Mehrbedarf an Leistung über den minimalen hinaus ins Netz liefern. Diese Hochdruckturbinen müssen daher stets alle im Gang sein, so dass für diese Pufferungsart besonders deren Leerlaufkonsum ins Gewicht fällt.

Für einen Vergleich der Systeme bezüglich Pufferung müssen natürlicherweise bestimmte Zahlenverhältnisse, ein bestimmtes Bahnnetz zugrunde gelegt werden. Es wurden für ein Netz, wie es etwa den mittleren Verhältnissen der Bundesbahnen entspricht, Projekte und Kostenanschläge für die Anlagen unter Anwendung von Akkumulatorenpufferung aufgestellt und die jährlichen Ausgaben für Bedienung, Unterhalt, Verzinsung und Abschreibung für die einzelnen Fälle ermittelt. Die ins *Fahrdrahtnetz* zu liefernden Leistungen und Energieen wurden, Einfachheit und geringer Abweichung halber, für alle Stromsysteme gleich gross vorausgesetzt, ebenso ein für alle Fälle gleicher, wahrscheinlicher Preis der gelieferten Hochspannungsenergie. Das Verhältnis zwischen maximaler und mittlerer Leistung wurde mit Rücksicht auf die Ausdehnung des Netzes relativ hoch, gleich 4, angenommen. Der Vergleich der verschiedenen Stromsysteme wurde für dasselbe Netz einmal für eine *mittlere* Verkehrsdichte, wie sie auf den schweizerischen Bundesbahnen vorkommt, und sodann für eine *sehr grosse Verkehrsdichte*, wie sie nur in Zeiten stärkster Belastung und auf den frequentiertesten Linien der Bundesbahn vorkommen, durchgeführt. Die Resultate können, da sie sich nur auf bestimmte Verhältnisse eines idealen Falles beziehen, nicht für die Ermittlung der absoluten Kosten dienen, wohl aber zum Vergleich der Systeme, für den sie zuverlässige Schlüsse für unsere Verhältnisse gestatten, da der Idealfall diesen möglichst angepasst war.

In relativen Werten ergab sich nachfolgendes Resultat, wobei die eingeklammerten Zahlen sich auf einen ausserordentlich starken, die anderen auf einen mittleren Verkehr beziehen:

Verluste und Kostenvermehrung durch Pufferung.

	Bei Verwendung von		
	Gleichstrom von 3000 Volt und Einzelpufferung[1])	*Drehstrom* von 5000 Volt und Zentralpufferung ohne Perioden-Umformung	*Einphasenstrom* von 15 000 Volt und Zentralpufferung
sind für jede an die Kontaktleitung abzugebende Kilowattstunde von der Hochspannungskraftverteilung *zu beziehen* . Kilowattstunden . .	1,54 (1,40)	1,65 (1,55)	1,65 (1,50)
Die *Kosten der so zu beziehenden Energie* sind demnach vergleichsweise in %	100 (100)	107 (111)	107 (107)
Die *Kosten der Umformung* werden verhältnismässig in %	136 (64)	93 (50)	68 (43)
und die *Kosten der abgegebenen Kilowattstunden* daher verhältnismässig in %	236 (164)	200 (161)	175 (150)

Das Einphasensystem ergibt sich hierdurch entschieden als das in Beziehung auf Pufferung weitaus vorteilhafteste, das Gleichstromsystem als das ungünstigste.

Analoge Vergleichsprojekte wurden für die *Wasserpufferung* gemacht; bei dieser zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den drei Stromsystemen.

Für die *Systemfrage* ergibt sich also zunächst aus der Untersuchung der Pufferungsverhältnisse ein Vorzug des Einphasensystems gegenüber Drehstrom und ein solcher des letzteren gegenüber dem Gleichstrom. Und dies unter der für diese Studie gemachten Voraussetzung desselben Energiebedarfs ab Fahrdraht für alle drei Systeme, was

[1]) Analoge Vergleichsrechnungen hatten gezeigt, dass für Gleichstrom die Einzelpufferung vorteilhafter sei als die zentrale, weshalb hier nur noch die erstere aufgeführt ist.

verlangt, dass auch der *Drehstrom*betrieb sich (mittels Polumschaltung der Motoren) stets derartig regulieren lasse, dass die Geschwindigkeit auf den Steigungen ohne wesentliche Aenderung des Wirkungsgrades des Triebfahrzeugs ähnlich ermässigt werden könne, wie bei den andern beiden Motorarten zufolge der Seriencharakteristik, der Serieparallelschaltung bezw. Transformerreglierung möglich ist. Nur unter dieser Annahme ist auch die zweite Voraussetzung dieser Studie, dass das Verhältnis der Maximalleistung zur mittleren beim Drehstrom *nicht* grösser sei als bei den andern Stromarten, erfüllt. Andernfalls stellt sich der Drehstrom mit Bezug auf die Pufferung noch ungünstiger.

Die direkte Lieferung der Leistungsmaxima ab Kraftwerken. Die bedeutenden Anlagekosten, welche sich bei den Studien für die Pufferungsanlagen jeder Art ergaben, besonders aber die sehr erhebliche daherige Vermehrung der Betriebskosten und die grossen Energieverluste drängten zu einer weiteren, genauen Untersuchung der von vornherein aufgeworfenen Frage, *ob es nicht doch vorteilhafter sei, die Kraftwerke für die direkte Lieferung der Maximalleistungen einzurichten und auf jegliche Pufferanlage zu verzichten.* Es ist dies zwar keine Frage des Vergleichs zwischen den elektrischen Systemen, da sie für alle gleich besteht, aber dennoch eine *Systemfrage* in dem Sinne, als ihre Beantwortung für die *allgemeine Anordnung der Anlagen für die Elektrifikation* von einschneidender Bedeutung ist.

Die Anordnung der direkten Lieferung der erforderlichen Leistungsmaxima ab Kraftwerken führt nicht nur zu einer Vergrösserung der maximalen Leistungsfähigkeit der Kraftwerke, die am besten bei Hochdruckwerken mit bequemer Wasserakkumulierung ausführbar ist, sondern sie führt auch zu bedeutenden Verstärkungen der Uebertragungsleitungen nach den Speisestationen. Für das Resultat ist daher auch die Länge dieser Leitungen von Einfluss.

Eine vergleichende Studie wurde für einen mittleren typischen Fall mit 500 KW. mittlerer und 2000 KW. maximaler Leistung, mit einem Kraftwerk, bei dem 200 m Druckhöhe vorausgesetzt wurden, durchgeführt, durch ein erstes Projekt mit direkter Lieferung der 2000 KW. von diesem und ein zweites mit Kraftwerk nur für die mitt-

lere Leistung unter Anwendung von Batteriepufferungsanlagen an den Verbrauchsstellen, die in verschiedenen Varianten in 0, 50, 100 und 150 km Entfernung angenommen wurden. Um den Leerlaufverlust der Turbinen nicht allzu gross werden zu lassen, ist bei beiden Arten vorausgesetzt, dass entsprechend dem grösseren mittleren Leistungserfordernis über die stärkst belasteten Stunden des Tages mehr, über die schwach belasteten weniger Maschinenaggregate im Betrieb seien. Die Rechnung wurde teils unter Annahme von Umformung des Stroms, teils ohne solche ausgeführt, sämtliche Projekte für Abgabe von Einphasenstrom von 15 000 Volt am Fahrdraht.

Die Resultate der Studie gibt nachstehende Zusammenstellung, aus der sich die direkte Uebernahme der Leistungsschwankungen durch das Kraftwerk durchwegs als viel günstiger erweist:

Verhältnis der jährlichen Totalausgaben

(für Bedienung, Unterhalt, Verzinsung und Amortisation von *Kraftwerk* und eventuellen Akkumulatoren- und *Pufferanlagen*).

für den Fall, dass:	für das System mit Übernahme der Schwankungen durch das Kraftwerk	*wie:*	mit konstanter Kraftwerkleistung und Batteriepufferung im Netz
keine Fernleitung nötig	100	:	182
eine Fernleitung ohne Umformung auf 50 km nötig	100	:	142
do. » 100 » »	100	:	132
do. » 150 » »	100	:	124
eine Fernleitung mit Umformung an der Verbrauchsstelle in 50 km Entfernung nötig . .	100	:	180
do. » 100 » » » . .	100	:	144
do. » 150 » » » . .	100	:	134

Obwohl auch diese Zahlen stark von den für das Wasserwerk angenommenen Verhältnissen abhängen, so drücken sie doch das Resultat so scharf aus, dass es qualitativ für

die meisten Fälle gültig sein wird. Wo es bei Hochdruck-Wasserkraftwerken möglich ist, die Schwankungen des Leistungsbedarfs direkt durch das Kraftwerk zu übernehmen, anstatt besondere Pufferungsanlagen im Konsumgebiet zu erstellen, ist also das erstere Verfahren, zum Teil weitaus, wirtschaftlicher.

Dieses Resultat wirkt dahin, dass *dasjenige System wirtschaftlicher wird, welches an sich geringere Schwankungen der maximalen Leistung hervorruft.* In einem Lande, bei welchem bedeutende Steigungen vorkommen, verursachen die letztern von den grössten Leistungsschwankungen. Diese sind bei Anwendung von Motoren mit Serieeigenschaft natürlich im Verhältnis der Geschwindigkeitsabnahme auf Steigungen geringer als bei Motoren mit wesentlich konstanter Geschwindigkeit, wie den Drehstrominduktionsmotoren.

Bei diesen setzt eine ähnliche Begrenzung dieser Schwankungen zum mindesten die Stufenschaltung voraus, die für grosse Lokomotiven ohne weiteres ausführbar ist, für Motorwagenbetrieb aber Schwierigkeiten bietet. Es ergibt sich somit für uns, d. h. mit Rücksicht auf wirtschaftliche Ausnützung der Wasserkräfte, ein Vorzug der Motorensysteme mit Serieeigenschaft, insbesondere des Einphasensystems gegenüber dem Drehstromsystem.

4. **Die Energie-Rückgewinnung.** Theoretisch kann mit der Rückgewinnung der lebendigen Kraft als Bremsarbeit und der Hebearbeit durch die Fahrt auf Gefällen gerechnet werden. Wir sprechen dabei nicht davon, dass auf Gefällen der Zug ganz oder teilweise durch seine Gewichtskomponente getrieben wird, also abwärts keine oder weniger Leistung von aussen zuzuführen ist: Diese Art Wiedergewinnung eines Teils der für die Hebung aufgewendeten Arbeit macht sich natürlich auch bei der elektrischen Traktion ganz von selbst. Es kann aber bei der letztern auch der *Überschuss* der Gewichtskomponente über den Rollwiderstand auf grösseren Gefällen ausgenützt und die so elektromechanisch gewonnene Energie der Fahrleitung zugeführt werden. Es scheint zunächst, als ob diese Art Rückgewinnung (sogen. *Rekuperation*) namentlich in einem bergigen Lande, wie die Schweiz es ist, wo so oft auf erheb-

lichen Steigungen und Gefällen gefahren wird, von grosser Bedeutung sei.

Die Rekuperation erfordert das Arbeiten der Motoren als Generatoren, wozu bei allen Systemen Erhöhung der elektromotorischen Kraft der Motoren über die Fahrdrahtspannung nötig ist. Verzichten wir, wie früher (Seite 11) begründet, auf Anordnungen mit zusätzlichen Generatoren, Separaterregern und dergleichen, als für den Betrieb zu kompliziert, so geht dem Gleichstromseriemotor die praktische Eignung, als Generator wirken zu können, ab. Den Gleichstromnebenschlussmotor aber werden wir für die in Betracht kommenden Bahnverhältnisse aus andern bekannten Gründen im allgemeinen nicht verwenden. Der Drehstrominduktionsmotor ist dagegen ohne weiteres so benutzbar, der Einphasenmotor unter Spannungszusatz mittels des sowieso vorhandenen Fahrzeugtransformators und gewisser zusätzlicher Hülfsmittel.

Dies genügt aber nicht für die wirkliche Durchführung der Rekuperation. Die *Rückgewinnung aus Bremsarbeit* scheitert in der praktischen Ausführung meistens schon daran, dass dazu die Maschinen als Generatoren grösser bemessen sein müssten denn als Motoren. Denn es werden in der Praxis grössere Bremsverzögerungen verlangt als Anfahrbeschleunigungen, damit die Fahrzeit nicht unzulässig gross werde. Die Bremsungen liefern aber auch im Verhältnis zur Gesamtarbeit, wie jede rechnerische Untersuchung zeigt, so wenig Energie, dass auf deren Benützung kein Gewicht zu legen ist.

Die *Rückgewinnung* der bei Zugsbewegung *auf Gefällen frei werdenden Energie* ist eher möglich, weil die dabei frei werdende Leistung nicht grösser ist als die für die Bergfahrt aufzuwendende. Denn die abzubremsende Zugkraft ist wegen Abzug des Rollwiderstandes kleiner als die für die Bergfahrt aufgewendete, und die Geschwindigkeiten sind meist nicht wesentlich andere.

Die Rückgewinnung der Gefällsarbeit ist hauptsächlich bei eigentlichen Bergbahnen zur Anwendung gekommen, wo sie bei grosser Steigung die Reibungsarbeit stark übersteigt und die Konstanz der Steigung einfache Verhältnisse schafft. So bei der Barmer Bergbahn (185 ‰, Gleich-

strom-Nebenschluss), der Filderbahn bei Stuttgart (172 ‰, Gleichstrom-Nebenschluss), Gornergratbahn und Engelbergbahn-Steilrampe (200, bezw. 250 ‰, Drehstrom-Induktionsmotoren). Ausser bei Bergbahnen wird Rekuperation angewandt in der Schweiz lediglich bei der *Burgdorf-Thun-Bahn* und in Italien bei der *Veltlinbahn*, und neuerdings auch beim Giovi-Tunnel, je mit Drehstrom-Induktionsmotoren.

Von der Burgdorf-Thun-Bahn und den ital. Bahnen liegen Messresultate vor. Eine vollständige Hin- und Rückfahrt Burgdorf-Thun ergab mit Motorwagen bei einer Zufuhr von 3102,5 eine Rückgabe von 630,4 Wattstunden pro Tonne, oder 20,3% Rückgewinn; mit der Lokomotive Nr. 2 ergab sich ebenso: Zufuhr 1950, Rückgabe 483 Wattstunden pro Tonne, oder 23% Rückgewinn, immer *von der dem Zuge zugeführten* Energie. Der Rückgewinn entspricht ca. 63, bezw. 69% der theoretisch am Radumfang auftretenden Arbeits-Rückgabe. Für die Veltlinbahn ergaben sich aus Zahlen der staatlichen Kommission auf Gefällen von 12,4 bis 20 ‰ bei Geschwindigkeiten von 62, bezw. 33 km/Std. 17,5 bis 45,5 Wattstunden pro Tonnenkilometer als rückgewinnbar, was einem Wirkungsgrad der Fahrzeuge für die Rekuperation von 63 bis 67% entspricht.

Diese Resultate beziehen sich auf die relativ starken Steigungen von 12,4 bis 25 ‰. Auf geringerer Steigung wird wegen geringerer Belastung der Wirkungsgrad der Motoren und Fahrzeuge für die Rückgewinnung wesentlich kleiner; man kann daher z. B. bei 15 ‰ nicht mehr als 50%, für grössere Steigungen etwa 65% für diesen Wirkungsgrad annehmen.

Fasst man nur Bahnen mit grösseren Steigungen ins Auge, so könnten also vielleicht 20 bis 25% der *den Zügen zugeführten* Energie durch die Rückgewinnung auf Gefällen erspart werden. Die Verhältnisse unserer Schweizerbahnen sind aber, wegen geringerer mittlerer Steigungen, für die Rückgewinnung wesentlich ungünstiger. Es kommt aber ausserdem nicht auf die Ersparnis in der den Zügen zugeführten Energie, sondern auf diejenige der *ab Kraftwerk abgegebenen Energie* an. Hier ist der Einfluss der Rückgewinnung wegen der mehr oder weniger konstanten Zwischenverluste viel kleiner.

Bei jenen Versuchen bei der Burgdorf-Thun-Bahn zeigten die Messungen:

Für den Betrieb wurden vom Kanderwerk abgegeben	4947 KWStd.
Kanderenergie und Rückgewinnung zusammen machten aus	5497 KWStd.
An der Radachse waren theoretisch zu leisten	2050 KWStd.;

letzteres sind also 41,5% der Kanderenergie *ohne* Rückgewinnung und 37,4% der Kanderenergie *mit* Rückgewinnung gerechnet, d. h. ein Unterschied von nur 4%, bei erheblichen Steigungen. Allerdings sind bei der Burgdorf-Thun-Bahn die ständigen Verluste der Fahrdraht-Transformatoren, welche hauptsächlich obige Verschiebung ergeben, verhältnismässig noch viel grösser als dies bei modernen Ausführungen der Fall sein wird, allein eine für das Ganze sehr wesentliche Veränderung *dieser* Verhältnisse können auch moderne Anlagen nicht erzielen. Zwar bringt die heute mögliche Verwendung höherer Fahrdrahtspannung, wie auf Seite 32 gezeigt, eine wesentliche Verminderung der konstanten Transformatorenverluste, wodurch die Ersparnis durch Rekuperation *ab Kraftwerk* wieder prozentual etwas grösser werden könnte als im vorigen Beispiel. Da der Einphasenstrom wesentlich höhere Fahrdrahtspannung gestattet als der Drehstrom, würde diese Verbesserung dann einen Vorzug des Einphasensystems gegenüber dem Drehstrom bedeuten, bei dem die Rekuperation im übrigen einfacher möglich ist, und neuerdings in der modernsten Drehstromanlage, beim Giovi-Tunnel, versucht wird. Eine ernsthafte Untersuchung gerade dieser Resultate zeigt aber, dass auch hier der schliessliche Gewinn nicht grösser und der praktische Vorteil überhaupt sehr zweifelhaft ist[1]).

Bei den mittleren Verhältnissen der Schweizerbahnen kann daher nicht einmal sicher mit 4% Gesamtgewinn an Energie durch Rekuperation von Gefällsarbeit gerechnet werden.

---

[1]) Siehe: Dr. *W. Kummer*, Schweiz. Bauzeitung vom 16. März 1912, Bd. LIX, Nr. 11, Seite 146.

Es kommt noch ein weiteres, sehr wesentliches Moment in Betracht: Für die Rekuperation müssen bei der Talfahrt alle Wagen ungebremst auf die Lokomotive drücken. Ob dabei die Sicherheit z. B. für lange Personenwagenzüge genügend gewahrt ist, wird von vielen verneint. So wird auch beim Giovi-Tunnel bis jetzt nur mit Güterzügen, *nicht* mit *Personen*zügen rekuperiert. Mit Rücksicht auf die Fahrsicherheit verlangt denn auch die Aufsichtsbehörde in der Schweiz, dass auch talwärts mit straff gespannten Kupplungen gefahren werde. Solange diese, gewiss mit Sorgfalt erwogene Massregel eingehalten werden muss, kann daher das angehängte Gewicht nicht treibend, energieleistend benützt werden, und die Rückgewinnung fällt für diesen Fall überhaupt dahin. In praktischen Fällen hat auch die Regulierung der Bremsung durch Rekuperation schon bei geringen Widerstandsänderungen durch Kurven Schwierigkeiten gezeigt. Die Rekuperation liefert bei Bahnen mit Wechseln des Längenprofils und der Kurven eine stark wechselnde Leistung, die auf den Betrieb der die Energie liefernden Primärmotoren dereglierend wirkt und die nutzbringende Aufnahme der rekuperierten Energie erschwert, auch wenn, was nicht immer der Fall, jederzeit dafür Verwendung vorhanden ist. Auch dies hat sich u. a. beim Giovi-Betrieb gezeigt. Selbst bei einfachern Anlagen mit Rekuperation wird diese sogar durch die Notwendigkeit von Widerständen (solche sind auch im Kraftwerk der Giovi-Linie angebracht worden) zur Aufnahme unverwendeter Energie direkt lästig (Engelbergbahn etc.).

Man kommt daher zum Schlusse: Die Energierückgewinnung hat für den praktischen Betrieb der Vollbahnen der Schweiz im allgemeinen keine wesentliche Bedeutung, jedenfalls nicht eine so grosse, wie man a priori glauben möchte, und jedenfalls keine derartige, dass die grössere oder geringere Eignung eines Systems für die Rekuperation ein erhebliches Moment bei der Systemwahl bilden dürfte. (Von diesen Schlüssen bleiben selbstverständlich Fälle von Spezialbahnen, in denen die Rückgewinnung sehr vorteilhaft sein könnte, unberührt.)

Der Umstand, dass die Rekuperation bei Gleichstrom (d. h. dem aus andern Gründen einzig in Betracht fal-

lenden Seriemotor) nicht durchführbar, bei Drehstrominduktionsmotoren mehrfach angewandt, bei Einphasen-Kollektormotoren weniger erprobt, aber ebenfalls möglich ist und hier aus dem oben angeführten Grunde eher eine etwas grössere Ersparnis verspricht als bei Drehstrom, fällt daher für die Systemwahl wenig ins Gewicht. Wählt man nicht gerade Gleichstrom, so wird die Rückgewinnung von Gefällsarbeit immerhin ausführbar sein.

Es bleiben nun noch einige

weitere technische Eigenschaften der Systeme

zu vergleichen.

1. **Betriebssicherheit und Solidität der Kontaktleitung.**

Es ist wohl nicht zu bestreiten, dass von der Solidität der Kontaktleitung die Betriebssicherheit der elektrischen Traktion zum grössten Teil abhängt, da die Leitungen diejenigen Bestandteile der Anlage sind, die mancherlei Beeinflussungen leicht zugänglich sind, und weil Schäden an den Leitungen Betriebsstörungen grösseren Umfangs veranlassen können als z. B. Störungen in einzelnen Triebfahrzeugen.

Die *dritte Schiene* hat wegen ihrer robusten Bauart besonders bei Eisenbahnfachleuten seinerzeit manche Anhänger gewonnen. Sie hat entschieden gewisse Vorteile: Grosse mechanische Festigkeit; leichte Zugänglichkeit ohne Hinderung des Fahrverkehrs; geringeres Hindernis in Tunnels, bei Brücken und Ueberführungen als eine Oberleitung, besonders eine solche hoher Spannung; keine Beeinflussung durch den Wind. Die Nachteile häufiger und schwerer Störungen bei Schneefall und Glatteis scheinen nach den amerikanischen Erfahrungen durch die neueren Konstruktionen vermieden zu sein, wenigstens mit genügender Sicherheit für unser Klima. Abgesehen von dem nicht hier zu diskutierenden Punkte der hohen Anlagekosten verbleiben aber die Nachteile des teuren Unterhalts der notwendigen Verschalungen (Holz) und besonders der Unmöglichkeit der Isolation für höhere Spannung, die eigentlich *wirtschaftliche* Nachteile sind, von denen wir den letztern bereits in der Beschränkung der „anwendbaren Systeme" auf 800 Volt für das Drittschienensystem zum Ausdruck brachten.

Daneben besteht noch die Vergrösserung der Gefahr für Bahnpersonal und Reisende und eine daherige Erschwerung des Bahndienstes und Unterhalts, besonders in Bahnhöfen.

Für die *Oberleitung* fallen letztere Nachteile weg, dagegen tritt Behinderung des Fahrverkehrs bei Revision und Unterhalt der Oberleitung selbst und eine gewisse Erschwerung des Unterhalts in Tunnels ein. Besonders wird der Oberleitung geringere mechanische Sicherheit, namentlich gegenüber den äussern Einflüssen der Temperatur und des Windes, vorgeworfen. Die Zweifel an genügender Betriebssicherheit der Oberleitungen haben besonders in den Kreisen der Eisenbahntechniker immer einen starken Grund der Abneigung gegen den elektrischen Betrieb gebildet. Nun besteht ja z. B. die Beeinflussung durch atmosphärische Elektrizität in der Tat. Aber es sind hierin, wie mit Bezug auf die mechanische Sicherheit der Oberleitungen, so zahlreiche und vorzügliche Verbesserungen entstanden, dass im Hinblick auf deren praktische Erfolge wohl gesagt werden darf, dass damit heute ein sehr hoher Grad der Sicherheit erreicht ist. Schon die Erfahrungen mit älteren Ausführungen von Oberleitungen, wie z. B. bei der Burgdorf-Thun-Bahn und der Engelbergbahn beweisen, dass die Störungen der Oberleitung tatsächlich auf ein sehr geringes Mass reduziert werden können. Die Erfahrungen an neueren Ausführungen, bei uns z. B. am Simplon, bei Seebach-Wettingen und Spiez-Frutigen, dann bei den preussischen Staatsbahnen bei Dessau-Bitterfeld, und anderwärts, bestätigen das soeben Gesagte auch für Leitungen mit sehr hohen Spannungen. Wenn letztere bei Anwendung erster Konstruktionen, für die noch keine Erfahrung benützt werden konnte, in Tunnels zuerst etwelche Schwierigkeiten machten, insbesondere solange auch noch mit Dampf regelmässig unter den Leitungen gefahren wurde und dadurch die Einwirkungen von Rauch und Russ an den Isolationen in hohem Masse hervorgerufen wurden, so hat sich anderseits gezeigt, dass die Schwierigkeiten und Störungen bei zweckmässiger Ausbildung der Konstruktionen und entsprechender Reinigung solange die regelmässige Berussung noch unvermeidlich ist, sicher überwunden werden können (so das Beispiel des Hondrich-Tunnels mit 15 000 Volt am Fahrdraht).

Mit den neueren, nach Erfahrungen durchgebildeten Vielfachaufhängungen sind sehr betriebssichere, solide, die Gefahren für Personen fast ganz beseitigende Oberleitungen geschaffen worden, die auch unter schwierigsten lokalen Verhältnissen durchführbar sind, wie z. B. der bewährte Betrieb mit Hochspannung der London - Brighton - Bahn zeigt, der ins Herz der Stadt London und in deren grösste Personenbahnhofsanlage eingeführt ist und bei dem die (einphasige, daher einpolige) Oberleitung fortwährend durch Dampfbetrieb anderer Gesellschaften verrusst wird ohne deswegen Störungen zu haben; ebenso die *New York-New Haven - Bahn,* deren Elektrifikation mit Einphasen-Oberleitung nach *mehrjähriger Bewährung* gegenwärtig auf über 900 km Geleise (zum Teil mit bis 6geleisigen Strecken) mit *22 000 Volt* ausgedehnt wird.

Hält man mit diesen Tatsachen die Möglichkeit der Verwendung der viel wirtschaftlicheren Hochspannungen bei der Oberleitung zusammen, so kommt man zunächst zum *Schlusse,* dass Systeme, welche die Oberleitung *fordern* — Hochspannungssysteme — dadurch in keinen wesentlichen Nachteil gegenüber Niederspannungssystemen kommen, die mit dritter Schiene arbeiten könnten.

Man wird aber anderseits darüber nicht im Zweifel sein können, dass eine *einpolige* Oberleitung — auch abgesehen von der Verwendbarkeit noch höherer Spannung, wesentlich solider und betriebssicherer gebaut werden kann und weniger Störungen aufweisen wird, als eine *zwei*polige, wie sie der Drehstrom erfordert. Kurzschlüsse, z. B. durch Stromabnehmer, sind viel leichter möglich bei Mehrpoligkeit, z. B. müssen die mehrpoligen Weichen und die dabei notwendigen vielen isolierten Unterbrechungen der Kontaktdrähte mehr Störungen veranlassen als die einpolige Oberleitung des Einphasenstroms. Dasselbe ist für den ausnahmsweisen Fall starker Beräucherung, z. B. in Tunnels, vorauszusehen. Die Durchführung von Vielfachaufhängungen gestaltet sich bei den zweipoligen Oberleitungen ebenfalls schwieriger. Auf einen weitern kleinen, vielleicht aber doch nicht so ganz unbedeutenden Nachteil der Drehstrom-Oberleitung ist noch hinzuweisen: Ueberall da, wo eine Drehscheibe, ein Geleisedreieck mit zwei Spitzkehren, oder eine Rückkehrschleife vorkommt (solche, im grossen

Masstabe, bildet das S. B. B.-Netz mehrere), tritt ein Wechsel der Polarität der Oberleitung gegenüber dem Fahrzeug ein, so dass ohne besondere Hilfsmittel die Fahrstellung „vorwärts" nachher Rückwärtsfahrt ergibt, und umgekehrt.

Vom Standpunkte der Betriebssicherheit muss daher zweifellos einem Systeme, das mit einpoliger Oberleitung für den Fahrdraht auskommt, in dieser Hinsicht der Vorzug gegeben werden vor einem solchen, das eine zweipolige Oberleitung erfordert, also dem Einphasensysteme vor dem Drehstrom, wogegen diese beiden durch die Oberleitung jedenfalls nicht in Nachteil kommen gegenüber dem, dritte Schiene gestattenden Niederspannungssysteme mit Gleichstrom.

2. **Die Beeinflussung der Schwachstromleitungen durch die elektrische Traktion.**

Dieser Punkt bildete längere Zeit den Gegenstand starker Besorgnis der Amtsstellen, die für den Betrieb der öffentlichen Telephone und Telegraphen, sowie der Bahnsignaleinrichtungen verantwortlich sind. Es wurde ihm daher seitens der Studienkommission ganz besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Die vorliegende Schrift eignet sich nicht dazu, auf die Einzelheiten dieser zum Teil sehr komplizierten Erscheinungen einzutreten. Es handelt sich um verschiedene Beeinflussungen, nämlich:

a) Durch *statische Induktion* seitens der Bahnbetriebsdrähte entstehen in benachbarten Schwachstromleitungen Spannungen und wechselnde Ladeströme, die besonders bei Wechsel- (also auch Dreh-) strom der Bahnanlage störend werden können.

b) Durch *dynamische Induktion* des veränderlichen Bahnstroms werden in nahe parallel verlaufenden Schwachstromleitungen ebenfalls wechselnde Ströme induziert. Sie stören im allgemeinen ebenfalls nur, wenn Wechsel- oder Drehstrom bei der Bahn verwendet wird.

c) Vagabundierende Ströme, abweichende, unmittelbar Teile der im allgemeinen in den Schienen verlaufenden Bahnströme darstellend, verlaufen bei allen Bahnstromsystemen ziemlich gleichermassen durch Schwachstromanlagen, wenn diese in der Nähe der Bahn ebenfalls die

Erde als Leitung benützen. Auf letzteres können die Schwachstromanlagen durch metallische Rückleitung verzichten, der Bahnbetrieb aus wirtschaftlichen und technischen Rücksichten nicht.

Die Erscheinungen lassen sich alle theoretisch voraus-bestimmen, wegen der sehr mannigfaltigen praktischen Verhältnisse jedoch oft nur äusserst mühsam. Ausser diesbezüglichen Studien wurden daher besonders zahlreiche Messungen gemacht und praktische Erfahrungen an im Betrieb befindlichen elektrischen Bahnen gesammelt. Von ganz besonders klärender Wirkung waren die von der eidgen. Telegraphendirektion und der Telegrapheninspektion der S. B. B. im Verein mit der Maschinenfabrik Oerlikon bei Seebach-Wettingen gemachten Versuche und Erfahrungen. Die Ursachen und genügenden Mittel zur Behebung der anfänglich sich sehr hartnäckig zeigenden Störungen sind mit Sicherheit festgestellt worden.

Als Beispiele der gemachten Messungen und Erfahrungen mögen folgende angeführt sein:

a) Störungen durch *statische Ladungen durch hochgespannten Drehstrom und Einphasenstrom:* Solche wurden u. a. festgestellt bei der Versuchsbahn Seebach-Wettingen an parallelgeführten Telephonleitungen. Es wurden 100 bis 300 bezw. 800 bis 1200 Volt Ladespannung gemessen bei der vorhandenen Isolation an Stelle von 800 bis 1100 bezw. 1700 bis 2400 Volt, welche nach der Rechnung bei vollkommener Isolation eingetreten wären. Die Spannung sank im ersten Fall auf 70 Volt, wenn die langen interurbanen Telephonlinien angeschlossen wurden, von denen die vorgenannten Paralleldrähte Teilstrecken waren.

Bei der Burgdorf-Thun-Bahn wurden bei verschiedener Witterung 50, 80 und 108 Volt Ladespannung (an Stelle der errechneten 85 Volt) an der längs dem Geleise geführten eigenen Telephonleitung gemessen; bei der ähnlichen Einrichtung der Stansstad-Engelberg-Bahn 50 Volt.

Diese Spannungen erwiesen sich, wie theoretisch wegen der kleinen Kapazitäten erklärlich, in der Praxis als ganz ungefährlich und hindern nicht die Bedienung der Apparate für Schwachstrom und das Arbeiten an den Leitungen des letztern während des Bahnbetriebs.

Bei der Telegraphenleitung der Bundesbahn Zürich-Seebach-Wettingen, in der Hauptsache als Freileitung parallel der Einphasen-Versuchsbahn geführt, war der Betrieb unmöglich, so lange sie eindrähtig (mit Erdrückleitung) eingerichtet war; die störende Einwirkung durch statische Ladung verschwand aber vollständig, sobald eine nicht geerdete Schleifenleitung (ohne Kreuzungen) verwendet wurde, die nur so weit geführt zu werden brauchte, als die Bahnkontaktleitung daneben lief. Das Telegraphieren verunmöglichende Störungen (Schwingen der Apparatenanker) traten trotzdem wieder ein, sobald das gewöhnlich in der Linie gebrauchte, 4,5 km lange Kabel Zürich-Oerlikon in den Kreis geschlossen wurde. Die beiden Drähte der Freileitung zeigten sich dabei wegen Unsymmetrie ungleich geladen (mit 280 und 580 Volt). Ericsonsche Entladespulen reduzierten diese Spannungen auf 70 bis 80 Volt und ermöglichten im Verein mit kleinen Aenderungen der Apparate wieder einwandfreien Telegraphenverkehr.

Bei den Blockapparaten der Bahn wurden isolierte Rückleitungen angebracht, obwohl sie schon ohne diese keine Störungen gezeigt hatten. Die Glockensignaleinrichtungen blieben ohne Rückleitung störungslos.

b) Die *Telephonleitungen*, welche der Seebach-Wettingen-Einphasenbahn entlang führten, zeigten Störungen sowohl von *statischer* als von *dynamischer Induktion*. Auf ungekreuzter Freileitungsschleife war bei Unterspannungsetzen der Fahrdrahtleitung (ohne dass diese Arbeitsstrom führte) ein durch statische Ladung erzeugter (jedoch nicht den Telephonverkehr hemmender) Ton hörbar, auf gekreuzter Schleife nicht mehr.

Bei Zugsfahrten erzeugte die dynamische Induktion bei den Versuchen mit den seit 1906 verwendeten Lokomotivmotoren mit Kommutatoren und ausgeprägten Polen in ungekreuzter Freileitungsschleife ein schrilles, starkes Pfeifen, das den Verkehr sehr stark störte. In einer Freileitungsschleife mit vielen Kreuzungen war das Pfeifen noch hörbar, doch weniger störend, in einer kürzern Schleife mit Kreuzung auf jeder Stange kaum störende Töne hörbar. Bei längern Schleifen zeigte es sich aber, dass durch Vorkehrungen an den Schwachstromleitungen

allein die Telephonstörung nicht auf das wünschbare Mass reduziert werden konnte. Die Maschinenfabrik Oerlikon stellte nun zunächst fest, dass die Schwingungszahl jenes pfeifenden Tones übereinstimmte mit derjenigen, die sich aus Nutenzahl und Umdrehungszahl der Motoren ergab, und dass diese Schwingungen nicht oder ganz unwesentlich von den Kommutationsvorgängen am Kollektor abhängig waren. Es wurden nun Motoren angefertigt, deren Anker geschlossene Nuten erhielten, die überdies um eine Nutenteilung spiralig verdreht waren. Mit Benutzung dieser Motoren wurden die genannten Einflüsse dann derart reduziert, dass das Telephon störungslos funktionieren konnte. Durch *vagabundierende Ströme* traten an verschiedenen Orten in Blocksignalapparaten der schweizerischen Bundesbahnen Störungen auf, wie Klebenbleiben der Anker, durch Gleichstrom- wie Wechselstromleitungen. Sie wurden durch Anwendung metallischer Rückleitungen im Schwachstrom überall gehoben; ebenso Störungen im anfänglich eindrähtigen *telephonischen* Verkehr der Burgdorf-Thun-Bahn nach Einlegung eines Rückleitungsdrahtes.

Als *Ergebnis* aller Versuche und Erfahrungen kann festgestellt werden:

Die Beseitigung der Störungen von Bahnleitungen auf Schwachstromleitungen ist etwas schwieriger bei Wechsel- und Drehstrom als bei Gleichstrom, sie ist aber auch bei erstern durchaus befriedigend ausführbar. Es ist unter allen Umständen und für alle Bahnstrom-Systeme, schon wegen der vagabundierenden Ströme, die Anbringung von Schleifenleitungen und der Verzicht auf Erdrückleitung für alle diejenigen Schwachstromleitungen (Telephon, Telegraph, Signalsysteme) erforderlich, die längs des Bahntrace verbleiben müssen und nicht in grössere Entfernung von der Bahn gebracht werden können. Für die Telephonleitungen wird dabei je nach den Verhältnissen ein mehr oder weniger häufiges Kreuzen der Schleife notwendig; für minder empfindliche Apparate *(Blocksignale)* kann in manchen Fällen auch gemeinsame Rückleitung für mehrere Hinleitungen genügen. Zur Verhütung der statischen Einwirkung ist auf möglichst gleichmässige Verteilung der Kapazität, z. B. Vermeidung des Anschlusses von Kabeln

an Freileitungen zu sehen. Für die Wechselstrom-Traktionssysteme ist streng auf Vermeidung von Oberschwingungen zu achten, was bei Einphasenmotoren anfänglich etwas schwieriger erschien als bei Drehstrominduktionsmotoren, heute aber dort ebensogut gelöst ist. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Stromsystemen ergibt sich aus dem Gesichtspunkte der Schwachstromeinwirkungen nicht, jedenfalls stellen sich Drehstrom und Einphasenstrom ungefähr gleich und sind die erwähnten Massnahmen an den Schwachstromanlagen auch für Gleichstromtraktion in Aussicht zu nehmen. Mit ihrer Durchführung ist bei den Kostenaufstellungen für die elektrische Traktion zu rechnen; sie sichern aber auch das ungestörte Bestehen von Schwach- und Starkstrombetrieb nebeneinander.

3. **Die Periodenzahl für Wechselstrom und Drehstrom.**

Für den Fall der Verwendung einer dieser Stromarten ergeben sich innerhalb derselben Unterschiede je nach der Höhe der Periodenzahl (Zahl der Schwingungen des Stroms pro Sekunde). Es müssen daher die passendsten Periodenzahlen gesucht werden. Ueber die diesbezüglichen Studien und Erwägungen ist in einer besondern Publikation der Studienkommission[1]), auf die hier verwiesen sei, berichtet worden. Auszugsweise erwähnen wir daraus folgendes:

Die Hauptrücksicht ist diejenige auf bestmöglich funktionierende Motoren, sodann die auf die Kosten. Nach beiden Rücksichten erweist sich für den Einphasenstrom die Periodenzahl von 15 per Sekunde vorteilhafter als eine solche von 25; für den Drehstrom treten keine wesentlichen Unterschiede zwischen 15 bis 50 Perioden auf. Die Erschwerung des Lichtbetriebs der Bahnen bei 15 Perioden spielt keine Rolle wegen fast ausschliesslich anderweitiger Beschaffung des Lichts; auch die Traktionsstrombeschaffung durch Umformung aus allgemeinen Kraftwerken erscheint für die Grossbahnen ohne wesentliche Bedeutung, ist aber auch ermöglicht durch die *Schlussfassung*, die aus den Studien resultierte:

---

[1]) „Mitteilungen der Schweiz. Studienkommission, Nr. 3, Die Wahl der Periodenzahl etc.", Zürich, Rascher & Co., 1908.

Es sei für Einphasenstrom die *Periodenzahl 15* die günstigste und als Norm anzunehmen; als *obere und untere Grenze* seien noch $16\frac{2}{3}$ und $13\frac{1}{3}$ Perioden zuzulassen. Diese Festsetzung wird vor allem sehr gute Motoren liefern und ist wirtschaftlich günstig. Für Drehstrom könnten 15 oder 50 Perioden gleichermassen gewählt werden; der Entscheid darüber wird aber bedeutungslos durch folgende

Schlussfolgerung in der Systemfrage vom technischen Standpunkte aus.

Ueberblickt man die Vor- und Nachteile der drei in Betracht gekommenen Betriebssysteme, wie sie im Vorstehenden dargelegt sind, so kommt man, wenn man nun auch das *Gewicht* der einzelnen Gesichtspunkte, unter denen die Systeme betrachtet wurden, abwägt, zwanglos zum Schlusse, *dass dem* **Einphasensystem** *das grösste Uebergewicht der technischen Vorzüge eignet.*

Vergleich der Systeme in Bezug auf die Kosten.

Hatten die bisherigen Betrachtungen ergeben, dass alle drei näher präzisierten elektrischen Traktionssysteme den Anforderungen des Bahnbetriebs bei zweckentsprechender Ausführung genügen, jedoch mit gewissen Unterschieden in bezug auf das technische Verhalten, so können die letzteren allein die Frage des zu wählenden Systems noch nicht ausschlaggebend entscheiden; es bleibt vielmehr zu untersuchen, ob und welche *Unterschiede zwischen den Systemen* in den *Anlage-* und in letzter Linie in den *Betriebs-Kosten* bestehen.

Es würde zu keinen schlüssigen Resultaten führen, wollte man solche Kostenvergleiche allgemein theoretisch anstellen. Dies müsste an den verschiedenen Bestandteilen der Traktionsanlagen geschehen, die einzeln bald zugunsten dieses, bald jenes Systems Vorteile ergeben und

die in das Ganze mit sehr verschiedenem Gewichte eintreten.

Vergleichsergebnisse von positivem Wert können nur *vollständige Anlage- und Betriebsprojekte für bestimmte, grössere Bahnnetze* geben. Die Studienkommission hat von Anfang an diesen Weg in ihr Programm aufgenommen. Als Objekt wurde zunächst die bisherige *Gotthardbahn* behandelt.

Die dafür aufgestellten vergleichenden Projekte sind bis in alle für den Vergleich in Betracht kommenden Einzelheiten durchgeführt worden. Gerade diese eingehende Behandlung klärte aber nicht nur die Systemfrage, sondern auch andere Fragen, besonders auch solche der zweckmässigen Gestaltung des Fahrplans, der Geschwindigkeiten, der Beschleunigungsart u. dgl. mehr, in hohem Masse ab, so dass später für die *im letzten Kapitel eingehend behandelten Ausführungsprojekte für den Kreis V einzelne Grundlagen anders* als in diesen Vergleichsprojekten angenommen wurden. Die *Endzahlen* der letztern sind deshalb absolut genommen *nicht vergleichbar* mit denen der späteren Projekte.

Die Grundlagen der Vergleichsprojekte.

Es erschien notwendig, für den Vergleich nicht unmittelbar die Verkehrsverhältnisse des bestehenden Dampfbetriebs zugrunde zu legen, sondern die Vergleichung für die absehbare Zukunft vorzunehmen, d. h. Grundlagen zu wählen, wie sie für die zukünftige Entwicklung der Verkehrsverhältnisse beim elektrischen Betrieb erwartet werden können.

Daher wurden folgende Annahmen für die Vergleichsprojekte gemacht:

Beim elektrischen Betrieb angenommene wirkliche Zugsgeschwindigkeiten in km/h

gegenüber den

(in Klammer beigesetzten) **des bestehenden Dampfbetriebes**[1]).

Für die Zugsart:	Auf Steigungen von					
	0 ‰	5 ‰	10 ‰	15 ‰	20 ‰	26 ‰
Schnellzüge	90 (70-85)	78 (65-75)	68 (50-60)	60 (40-48)	55 (35-40)	50 (30-40)
Personenzüge	75 (50-55)	70 (45-50)	60 (40-45)	55 (30-35)	52 (25-30)	50 (20-26)
Güterzüge	45 (35-38)	45 (25-35)	45 (20-30)	40 (20-25)	37 (15-21)	35 (15-18)

Die zu befördernden Zugsgewichte wurden in den Maxima angenommen: Für die Schnellzüge auf den Hauptstrecken zu 400 t entsprechend den bisherigen absoluten Maxima, für die Güterzüge zu 700, bezw. 600 t (d. i. wesentlich mehr als bei Dampfbetrieb), bei den Personenzügen mit Rücksicht auf die grössere Zahl und die Erleichterung durch Motorwagenbetrieb 250 t. Die *mittlern* Zugsgewichte sind wesentlich höher gerechnet als bisher vorgekommen.

Anzahl und zeitliche Verteilung der Züge. Schnellzüge ungefähr zu den gegenwärtigen Zeiten, jedoch unter Verdoppelung aller Mittagszüge; Personenzüge in möglichst regelmässigen Zwischenräumen, je nach dem Bedürfnis in Abständen von 1 bis 1½ Stunden in beiden Richtungen; Güter- und Fakultativzüge ungefähr wie

---

[1]) Die hiervon etwas abweichenden Zahlen auf Seite 265 des Rapportes zu Frage VIII für den Internationalen Eisenbahnkongress, Bern 1910, beziehen sich auf eine erste Berechnung, nicht die hier verwertete endgültige vom März 1910, und die dort aufgeführten, früher erhaltenen approximativen Angaben über die Dampfbetriebsgeschwindigkeiten erwiesen sich als ungenau. Die hier angegebenen Zahlen entsprechen eingehender späterer Nachprüfung und Angabe durch die Verwaltung der Bahnen selbst.

beim Dampfbetrieb, von den Fakultativzügen jedoch zur Maximalzeit eine grosse Anzahl.

Der so sich ergebende **Gesamtverkehr** beträgt per Tag rund 6 333 000 Gesamttonnenkilometer. Um den Einfluss der Dichtigkeit des Verkehrs auf das Ergebnis der wirtschaftlichen Systemsvergleichung zu erkennen, wurden nun diese Zahlen für *zwei Varianten* benützt, indem in einer ersten (A) ein Tag mit jenem Gesamtverkehr als Tag maximalen Verkehrs, in der zweiten (B) ein solcher Tag als Durchschnittstag des Jahres und, entsprechend einer früheren Ermittlung, der Maximaltag mit 54% grösserem Verkehr angenommen wurde.

Die *Variante* A umfasst so jährlich 1 710 000 000 tkm Verkehrsarbeit (insgesamt, samt Triebmittelgewicht), d. i. ca. 10% mehr als der bisher grösste Dampfverkehr (der von 1907 und 1910),

und *Variante* B jährlich 2 300 000 000 tkm Verkehrsarbeit oder 50% Vermehrung gegenüber diesem maximalen Dampfbetrieb 1907 und 1910.

An Brutto-Tonnenkilometern des „gezogenen" oder „angehängten" Zugsgewichtes, d, h. der Züge ohne Lokomotiven, welche Zahlen für den elektrischen Betrieb einen bessern Vergleich geben, hat

Variante A jährlich 1 300 000 000 tkm oder rund 20% mehr als der Dampfbetrieb 1907, und

Variante B jährlich 1 760 000 000 tkm oder 60% mehr als der Dampfbetrieb 1907.

Der für absehbare Zukunft zu veranschlagende Verkehr dürfte wohl etwa in diesen Grenzen liegen.

Für die Leitungen zur Energieverteilung wurden die nach Massgabe der eigentlichen Bahnanlage grösstmöglichen Belastungen und ungünstigsten Zugslagen der Berechnung zugrunde gelegt und

Hauptspeisepunkte in Goldau, Amsteg, Lavorgo, Giubiasco und Melide angenommen, in Anlehnung an die Disposition der dabei vorgesehenen

Kraftwerke in Amsteg (später noch Göschenen), Lavorgo und Ritomsee-Piotta.

Die Einheitspreise der Anlagekosten sind festgesetzt worden, wie später für die Ausführungsprojekte angegeben.

Die Projekte und Berechnungen der Anlage- und Betriebskosten

sind auf diesen Grundlagen für die drei Hauptsysteme, und zwar für das Einphasensystem für beide vorläufigen Grenzen der Periodenzahlen 15 und 25, für den Drehstrom ebenso für 15 und 50 Perioden aufgestellt worden, und weiter für jedes System sowohl ohne als mit Pufferung im Netz, um auch am konkreten Beispiele nochmals die Frage der Pufferung abzuklären. Als Pufferungsmittel sind Akkumulatoren verwendet.

Noch nicht zur Verfügung standen bei Aufstellung dieser Vergleichsprojekte die genaueren Berechnungen über die *Kraftwerke*. Daher wurde der Einheitspreis der Energie *ab Kraftwerk* zunächst mit einer aus Vorprojekten als wahrscheinlich ermittelten Zahl in die Rechnung eingesetzt, nämlich mit 2 Rp. pro KWh für den Fall gleichmässiger Belastung der Kraftwerke unter Anwendung von Pufferung, und mit 20% mehr für die direkte Abgabe der Maximalleistung ab Kraftwerk, da die erwähnten Untersuchungen über den Einfluss der Pufferung *im Mittel* eine ungefähr derartige Steigerung der Kosten der Energieeinheit, veranlasst durch den in diesem Falle nötigen Ausbau der Kraftwerke auf grössere Maximalleistung und schlechtere Ausnützung derselben, voraussehen liessen.

Die späteren, auf genauen Kraftwerkprojekten beruhenden Berechnungen ergaben geringere Kosten der Energieeinheit ab Kraftwerken; in der nachstehenden Vergleichstabelle sind daher die totalen Energiekosten auch noch mit Einheitspreisen berechnet, wie sie sich ungefähr aus den spätern Ergebnissen feststellen lassen, nämlich 1,9 bezw. 2,3 und 1,5 bezw. 1,8 Rp. (je nach Verkehrsdichte) pro KWh [1]).

Der Vergleich der Zahlen beweist, dass die *relative wirtschaftliche Stellung der Systeme zueinander* — und nur um diese handelt es sich hier — bei beiden Kraftpreisen dieselbe bleibt, und eine weitere Rechnung zeigte, dass dies

---

[1]) Siehe u. a. die Zahlen auf Seite 103.

Vergleich der Anlage- und Jahreskosten der Verteilanlagen, des Energiebedarfs und der Energiekosten für den elektrischen Betrieb der Gotthardbahn nach verschiedenen Systemen.

Betriebssystem	Anlage-Kosten der Verteilanlagen (Unterwerke u. Uebertragungsleitungen)	Jahres-Kosten der Verteilanlagen (Unterwerke u. Uebertragungsleitungen)	Jährlicher Energiebedarf ab Kraftwerken für den Verkehr im Umfange		Jährliche Energiekosten ab Kraftwerken für den Verkehr im Umfange zum Preise von Rappen per Kilowattstunde				Jährliche Energiekosten am Fahrdraht für den Verkehr im Umfange zum Preise v. Rappen per Kilowattstunde (ab Kraftwerken)			
			A	B	A		B		A		B	
	In Tausenden von Franken		Millionen Kilowattstunden		2 bezw. 2,4	1,9 bezw. 2,3	2 bezw. 2,4	1,5 bezw. 1,8	2 bezw. 2,4	1,9 bezw. 2,3	2 bezw. 2,4	1,5 bezw. 2,8
					In Tausenden von Franken				In Tausenden von Franken			
Einphasenstrom, 15 000 Volt, 15 Per.												
ohne Pufferung	2 531	316	83,8	113,5	2 012	1 910	2 720	2 040	2 328	2 226	3 036	2 356
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco und Melide	10 771	1 550	98,2	132,8	1 964	1 980	2 656	2 000	3 514	3 550	4 206	3 550
Einphasenstrom, 15 000 Volt, 25 Per.												
ohne Pufferung	2 519	315	83,8	113,5	2 012	1 910	2 720	2 040	2 327	2 225	3 035	2 355
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco und Melide	10 559	1 519	98,2	132,8	1 964	1 980	2 656	2 000	3 483	3 499	4 175	3 519
Drehstrom, 5000 Volt, 15—16 Per.												
ohne Pufferung	5 661	759	90,3	122,	2167	2 060	2 933	2 200	2 926	2 119	3 692	2 959
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco und Melide	13 634	1 937	107,5	145,5	2150	2 060	2 910	2 180	4 087	3 997	4 847	4 117
Drehstrom, 5000 Volt, 50 Per.												
ohne Pufferung	6 717	853	91,6	123,8	2 197	2 060	2 966	2 240	3 050	2 933	3 819	3 093
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco und Melide	14 218	2 020	108,8	147,1	2 176	2 080	2 942	2 200	4 196	4 100	4 962	4 220
Gleichstrom, 3000 Volt mit Umformung und Pufferung in 11 Unterwerken	22 877	3 364	104,6	141,5	2 092	2 000	2 830	2 130	5 456	5 364	6 194	5 494

NB. Bei den Energiekosten ist der erste Einheitspreis pro Kilowattstunde jeweilen der für den Fall von Pufferung, der zweite der entsprechende für den Fall der direkten Abgabe der Maximalleistungen ab Kraftwerken; die höheren Preise der ersten Kolonnen entsprechen den ersten Annahmen, die niedrigeren der zweiten Kolonnen ungefähr den Ergebnissen der späteren, genaueren Kraftwerksprojekte.

Tab. zu pag. 59.

Vergleich der Anlage- und Jahres r Gotthardbahn

Betriebssystem	A n am Fahrdraht im Umfange		
		B	
	(attstunde (ab Kraftwerken)		
		2 bezw. 2,4	1,5 bezw. 2,8
	In	on Franken	
Einphasenstrom, 15 000 Volt, 15 Per.			
ohne Pufferung		3 036	2 356
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco und Melide	1	4 206	3 550
Einphasenstrom, 15 000 Volt, 25 Per.			
ohne Pufferung		3 035	2 355
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco und Melide	1	4 175	3 519
Drehstrom, 5000 Volt, 15—16 Per.			
ohne Pufferung		3 692	2 959
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco und Melide	1	4 847	4 117
Drehstrom, 5000 Volt, 50 Per.			
ohne Pufferung		3 819	3 093
mit Pufferung in Goldau, Giubiasco und Melide	1	4 962	4 220
Gleichstrom, 3000 Volt			
mit Umformung und Pufferung in 11 Unterwerken	2	6 194	5 494

NB. Bei den Energiekosten ist der erste Einh r Maximalleistungen ab Kraftwerken; die höheren Preise der erster werksprojekte.

auch noch bei 50% höherem Einheitspreis der Energie ab Kraftwerken der Fall ist; dasselbe Resultat ergaben auch die ersten, in der Fussnote von Seite 56 erwähnten Projekte mit zum Teil wesentlich höheren Geschwindigkeiten und anderem Fahrplan. Die relativen Resultate sind daher durchaus sichere.

Die Vergleichsprojekte durften sich so zunächst beschränken auf Anlagekosten und Jahreskosten der *Verteilanlagen*, Energiekonsum und Energiekosten ab Kraftwerken, und die Summe der letztern und der Jahreskosten der Verteilanlagen, was dann die *Energiekosten am Fahrdraht*, alles rückwärts davon liegende inbegriffen, ergab. Denn die Anlagekosten und die Unterhalts-, überhaupt die Jahreskosten der *übrigen* Teile des elektrischen Betriebs, der *Triebfahrzeuge* und einiger allgemeiner Dinge, sind bei allen Systemen wesentlich gleich, mit Ausnahme der Verteuerung bei Einphasenstrom mit 25 Perioden gegenüber 15 Perioden, worüber aber die auf Seite 53 erwähnte Sonderuntersuchung Aufschluss gab.

Die *nebenstehende Tabelle* zeigt die

Ergebnisse der Vergleichsprojekte für die Energiekosten.

Für die Ermittlung der Jahresausgaben sind dabei (ausser üblichem Zins) für den Unterhalt, die Reparaturen und Erneuerungsrücklagen überall analoge Prozentsätze nach Erfahrungen bei elektrischen Anlagen, für die eigentliche Wartung die Löhne nach gegenwärtigen Verhältnissen eingesetzt.

Die vorstehende Zahlentafel lehrt durch ihre, den Ausschlag gebenden 4 letzten Kolonnen deutlich folgendes:

a) Die Anlagen mit direkter Uebernahme der Maximalleistung durch entsprechend ausgebaute Kraftwerke erweisen sich bei diesem konkreten Beispiele — in Bestätigung der früher erwähnten allgemeinen Studie — als ganz zweifellos viel vorteilhafter als diejenigen mit Akkumulatoren-Pufferungsanlagen, und zwar bei allen Systemen und jedem in Betracht kommenden Verkehr.

b) Das Gleichstromsystem ist zweifellos, auch bei Anwendung dieser höchsten allenfalls in Betracht zu ziehenden Spannung von 1500 Volt an den Kollektoren und 3000 Volt am Fahrdraht, ganz enorm viel unwirtschaftlicher als das Einphasensystem. Das zeigen die über 5 Millionen Franken Jahreskosten bis an den Fahrdraht gegen ungefähr 2 Millionen beim Einphasenstrom deutlich genug. (Das Gleichstromsystem mit dritter Schiene und 800 Volt hatten schon Voruntersuchungen als noch viel unwirtschaftlicher für unsere Verhältnisse ergeben; es ist daher dafür kein Projekt ausgearbeitet worden.)

c) Das Drehstromsystem ist, ebenfalls mit der als höchstmöglicher in Betracht zu ziehenden Spannung, auch wesentlich unwirtschaftlicher als das Einphasensystem. (Dabei ist bei dieser Rechnung noch nicht in Betracht gezogen, dass wegen der, gegenüber Einphasenstrom notwendigen grösseren Maximalleistung der Kraftwerke auch die Energieeinheit für Drehstrom noch teurer zu stehen kommen wird; dies würde tatsächlich den Unterschied wesentlich verschärfen.)

Ergänzung der Vergleichsprojekte.

Man dürfte sich wohl bei der Entschiedenheit, mit der die Zahlen sprechen, mit Recht mit diesen Vergleichsresultaten begnügen.

Um jedoch gar keine Zweifel zu lassen, wurden die *Vergleichsprojekte noch ergänzt* durch die *Triebfahrzeuge und übrigen Anlagen,* welche die Elektrifikation veranlasst, immerhin unter Weglassung des Gleichstroms.

Auch die Projekte mit Pufferung sind als viel zu unwirtschaftlich in der Folge ausser Betracht gelassen.

Es wurden also noch die Kosten der *Bahnbetriebseinrichtungen im engern Sinne* berechnet. Diese sind: Die *Fahrdrahtleitung, das Rollmaterial,* die nötigen *Aenderungen und Ergänzungen an Remisen und Depotanlagen, der Umbau der Schwachstromeinrichtungen* und verschiedenes *Zubehör.* Auch diese Projektierung geschah auf sorgfältigsten Grundlagen, analog wie später bei den Ausführungsprojekten angegeben. Es ergeben sich dabei u. a. die

Gesamtanlagekosten der Fahrbetriebsmittel

für Einphasenstrom von		für Drehstrom von	
15 Perioden	25 Perioden	15 Perioden	50 Perioden
Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
15 283 500	17 781 400	15 715 300	14 347 000

(Aus diesen Zahlen ist u. a. das früher auf Seite 59 Erwähnte ersichtlich, dass die Kosten der gesamten Triebmittel bei 15 Perioden-Einphasenstrom wesentlich geringer sind als bei 25 Perioden, während bei Drehstrom ein Unterschied zugunsten von 50 Perioden besteht, der aber unbedeutend ist.)

Ausser diesen neuen Triebmitteln (in deren Kosten neben den Lokomotiven und Motorwagen auch Reserveteile und Einrichtungen für Heizung einbegriffen sind), erfordert die angenommene *Verkehrsvermehrung* auch eine *Vermehrung des Rollmaterials an gewöhnlichen Personen- und Güterwagen*, die genau festgestellt und in den Kosten mit berechnet wurde.

Um auch den *Einfluss* der verschiedenen *Systeme* und Periodenzahlen *auf die Anlage- und Betriebskosten der Kraftwerke* noch genauer zu ermitteln, sind in diesem Stadium der Untersuchungen *neue Vorprojekte für die* oben erwähnten *4 Kraftwerke* ausgeführt worden, welche für alle zusammen vergleichsweise für den grösseren Verkehr B die nachfolgenden *Anlagekosten* ergaben:

Für das System mit

Einphasenstrom	15 Perioden	. . . .	Fr. 30 450 000
„	25 „	. . . .	„ 29 625 000
Drehstrom	15 „	. . . .	„ 28 725 000
„	50 „	. . . .	„ 27 865 000

(Hieraus ist u. a. auch, das aus der Tabelle zu Seite 59 Hervorgehende bestätigend, zu finden, dass der Unterschied der Kraftwerkskosten bei 15 oder 25 Perioden unbedeutend ist, der oben angegebene Unterschied der Kosten der Triebfahrzeuge zugunsten der 15 Perioden überwiegt.)

Die Zahlen haben nur Vergleichswert, da sich die angenommene absolute Grösse des Ausbaus auf Maximalleistung durch die spätern genauern Ermittlungen als noch

zu gross erwies. Diese Anlagekosten führten zu den in nachstehender Tabelle eingesetzten Jahreskosten der Werke, d. i. den *Energiekosten ab Kraftwerk*, die um einen belanglosen Betrag abweichen von den in der Tabelle zu Seite 59 mit 2 Rp./KWh angenommenen.

Diese Weiterführung der Projekte ward nun noch ergänzt durch die Ermittlung der *Betriebskosten des eigentlichen Fahrdienstes*, im Umfange entsprechend dem Rechnungsschema der schweizerischen Eisenbahnen, gleich wie für die ausführlichen Projekte auf Seite 104 erwähnt.

Fassen wir die zahlenmässigen Ergebnisse der so ergänzten Projekte zusammen, indem wir nur noch die Projekte mit denjenigen Periodenzahlen berücksichtigen, die sich als günstiger erwiesen (15 Perioden für Einphasen- und 50 Perioden für Drehstrom), so ergibt sich die auf Seite 63 mitgeteilte Uebersicht.

Setzt man statt der, wie auf voriger Seite angegeben, ermittelten Energiepreise die den später ermittelten Selbstkosten besser entsprechenden 1,9 bezw. 1,5 Rp./KWh in die Tabelle ein, so ergeben sich die relativen Gesamtkosten für die vier Kolonnen zu Franken

8 831 000 9 817 000 10 253 000 11 270 000

Das qualitative Ergebnis bleibt dasselbe; es ist lediglich noch schärfer ausgeprägt und bestätigt das schon auf Seite 60 Ermittelte:

Der Einphasenstrombetrieb erweist sich als wesentlich wirtschaftlicher als der Drehstrombetrieb und als der wirtschaftlichste elektrische Betrieb überhaupt.

Zu diesem Resultat sind wir zunächst für die *Gotthardbahn* gekommen. Einfache Ueberlegungen und Ueberschlagsrechnungen lassen aber leicht erkennen, dass das Ergebnis für andere Teile unseres schweizerischen Vollbahnnetzes qualitativ kein anderes wird. Ueberprüfungen an den später errechneten Projekten für den Bundesbahnkreis II zeigen dies u. a. zur Evidenz.

Konnte auf Seite 54 dem *Einphasensystem* das *Uebergewicht an technischen Vorzügen* vor den anderen zugesprochen werden, so fügt sich nun die *Ueberlegenheit in der Wirtschaftlichkeit* hinzu und man kann daher ohne Bedenken den sicheren

Für den elektrischen Betrieb

mit einem Verkehr im Umfange:	A		B	
und dem Systeme mit:	Einphasen-strom 15 Perioden	Drehstrom 50 Perioden	Einphasen-strom 15 Perioden	Drehstrom 50 Perioden
betragen **die Anlagekosten** (vergleichsweise)				
für	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
Kraftwerke	27 150 000	24 865 000	30 450 000	27 865 000
Energieverteilanlagen . .	2 531 000	6 717 000	2 531 000	6 717 000
Elektrische Betriebseinrichtungen (Triebfahrzeuge, Schwachstrom u. Diverses)	28 641 000	32 211 000	28 641 000	32 211 000
Rollmaterialvermehrung wegen Verkehrssteigerung	6 416 000	6 416 000	15 765 000	15 765 000
	64 738 000	70 209 000	77 387 000	82 558 000
betragen die **gesamten Fahrdienstauslagen** per Jahr (vergleichsweise)				
für **Indirekte Ausgaben:**				
Eigentliche Bahnbetriebseinrichtungen:				
Zinsen	1 146 000	1 289 000	1 146 000	1 289 000
Tilgung	93 000	111 000	93 000	111 000
Erneuerung	348 000	375 000	348 000	375 000
	1 587 000	1 775 000	1 587 000	1 775 000
Rollmaterialvermehrung wegen Verkehrssteigerung Zins, Tilgung, Erneuerung	329 000	329 000	819 000	819 000
	1 916 000	2 104 000	2 406 000	2 594 000
für **Direkte, eigentliche Fahrdienstauslagen:**				
Exklusive Energie . . .	4 689 000	4 780 000	5 491 000	5 583 000
Energiekosten ab Werk .	2 172 000	1 989 000	2 436 000	2 229 000
Kosten der Verteilung. .	316 000	853 000	316 000	853 000
Insgesamt	9 093 000	9 726 000	10 649 000	11 259 000

Schluss über die Systemfrage

ziehen:

Das Einphasensystem, mit Kollektormotoren mit Seriecharakteristik, ausgeführt mit ca. 15 Perioden pro Sekunde und einer Fahrdrahtspannung von ungefähr 15 000, eventuell 10 000 Volt, ist für die Verhältnisse unseres Vollbahnbetriebs technisch und wirtschaftlich als das günstigste System zu empfehlen.

Die Studien der preussischen, der bayerischen, der österreichischen und der schwedischen Staatsbahnen, teilweise unterstützt von Versuchen, bezw. praktischen Betrieben im grossen, haben bekanntlich zu demselben Ergebnis und positiven bezüglichen Beschlüssen geführt, denen die Schweiz daher mit um so weniger Bedenken folgen darf.

II. Die Kostenfrage auf Grund der Projekte für die Elektrifizierung der ehemaligen Gotthardbahn und des Bundesbahnkreises II.

Allgemeines.

Auf Seite 55 u. ff. sind bereits vollständige Projekte für die Elektrifizierung der G.-B. und einzelne Resultate erwähnt. Wie es bei einer derart komplexen Materie nie anders sein kann, so hat auch hier erst die Einzelbearbeitung und Durchführung erster Projekte genauen Einblick in die Wirkung der verschiedenen Faktoren gegeben, und dadurch zur Ueberzeugung geführt, dass mit gewissen Aenderungen sich noch Passenderes, sowohl dem Verkehrsbedürfnis als der neuen Betriebsart besser Dienendes schaffen lasse. Es gelang der Studienkommission, für eine neue Bearbeitung die dazu unumgänglich notwendige Mitwirkung der bei der Bahn selbst mit den betreffenden Grundlagen sich befassenden Fachleute zu gewinnen. So wurden die Fragen der Geschwindigkeiten, Beschleunigungen, Zugsgewichte und besonders der Fahrplan, die verkehrsstatistischen Angaben, die Diensteinteilungen für Material und Personal und die Ausgabeposten für Saläre des letztern von Organen der Bahn mitbearbeitet.

Ausser Aenderungen der Grundlagen und der teilweisen Anwendung von neuen, präziseren Methoden wurde nun namentlich eine eingehendere Bearbeitung der Kraftwerksprojekte vorgenommen. Die Wasser- und Akkumulierungsverhältnisse, das passende Zusammenarbeiten der Werke, die Einzelheiten aller baulichen und hydromechanischen Anlagen wurden durch Spezialfachleute unter Mitwirkung erster Konstruktionsfirmen studiert und berechnet.

Die im Nachstehenden besprochenen neuen Projekte für den elektrischen Zukunftsbetrieb der G.-B. und des S. B. B. - Kreises II sind ergänzt durch ein solches, das zum genauen Vergleiche mit dem Dampfbetrieb dem 1904 auf der G.-B. stattgefundenen Verkehre entspricht.

Die verkehrstechnischen Grundlagen der Projekte für die Gotthardbahn.

Wenn man auch die Einführung des elektrischen Bahnbetriebs in erster Linie zum Zwecke der Befreiung von der Kohleneinfuhr und zur Verwertung der nationalen Wasserkräfte ins Auge fasst, so wird man doch auch die weiteren, beim elektrischen Betriebe möglichen Verkehrsverbesserungen erreichen wollen, selbst wenn sie besondere Einrichtungen erforderten. Die Projekte für den zukünftigen elektrischen Betrieb müssen daher so angeordnet werden, dass in allen Beziehungen, in denen dies möglich ist, über den gegenwärtigen Betrieb hinausgegangen und mehr geleistet wird. Immerhin wird man dabei nicht ohne weiteres bis an die Grenzen der technischen Möglichkeit gehen, sondern nur soweit als die Wirtschaftlichkeit gestattet und das Bedürfnis vorhanden. Von diesem allgemeinen Gesichtpunkt aus hat die Studienkommission die verkehrstechnischen Grundlagen für die neuen Projekte bestimmt.

Folgende Zusammensteilung gibt zunächst vergleichenden Aufschluss über

Die wirklichen (in der Ausführung maximalen) Zugsgeschwindigkeiten auf der bisherigen Gotthardbahn in km/h:

	auf den Steigungen von ‰:					
Für Schnellzüge:	*0*	*5*	*10*	*15*	*20*	*26*
a) beim bisherigen Dampfbetrieb (1904) und beim Vergleichsprojekt für analogen elektrischen Betrieb	85	75	60	48	40	40
b) beim Projekt für zukünftigen elektrischen Betrieb . . .	90	80	70	60	55	50
Für Personenzüge:						
a) beim bisherigen Dampfbetrieb (1904) und beim Vergleichsprojekt für analogen elektrischen Betrieb	55	50	45	35	30	26
b) beim Projekt für zukünftigen elektrischen Betrieb . . .	75	70	60	56	53	50

	auf den Steigungen von ‰:					
	0	*5*	*10*	*15*	*20*	*26*
Für Güterzüge:						
a) beim bisherigen Dampfbetrieb (1904) und beim Vergleichsprojekt für analogen elektrischen Betrieb	38	35	30	25	21	18
b) beim Projekt für zukünftigen elektrischen Betrieb . . .	45	45	45	40	37	35

Es sind demnach für den elektrischen Betrieb der Zukunft überall Geschwindigkeitssteigerungen, zum Teil gewaltige, gegenüber dem Dampfbetrieb angenommen; auch die heute schon relativ raschen Schnellzüge sollen weiter beschleunigt werden; am grössten und fast einer Verdoppelung gleichkommend, sind die Geschwindigkeitssteigerungen der Personen- und Güterzüge auf den Maximalsteigungen.

Die Vermehrung der kommerziellen oder Reisegeschwindigkeiten und die Verminderung der totalen Reisezeiten tritt natürlich nicht in gleichem Masse ein wie die Vermehrung der wirklichen Geschwindigkeiten, wegen der unvermeidlichen und in ihrer Dauer nicht verkürzbaren Halte; immerhin ist die Verbesserung auch nach dieser Richtung eine sehr bedeutende, wie nachstehender Tabelle zu entnehmen ist:

Totale Reisezeit einschliesslich Halte, in Minuten.

Für die Strecken:	Beim bisherigen Dampfbetrieb:				Beim zukünftigen elektrischen Betrieb:			
	Expresszüge	Gewöhnliche Schnellzüge	Personenzüge	Güterzüge	Expresszüge	Gewöhnliche Schnellzüge	Personenzüge	Güterzüge
Luzern-Bellinzona	206	258	340	600	177	190	250	400
Bellinzona-Luzern	217	266	351	630	182	194	260	430
Luzern-Chiasso .	286	360	472	780	240	263	333	550
Chiasso-Luzern .	296	370	535	780	247	267	338	600
Luzern-Luino . .	290	320	430	720	232	240	310	500
Luino-Luzern . .	293	325	490	750	240	246	320	530

Kommerzielle oder Reisegeschwindigkeiten, einschliesslich Halte, in km/h.

Auf den Strecken:	Beim bisherigen Dampfbetrieb:				Beim zukünftigen elektrischen Betrieb:			
	Express-Züge	Gewöhnliche Schnellzüge	Personenzüge	Güterzüge	Express-züge	Gewöhnliche Schnellzüge	Personenzüge	Güterzüge
Luzern - Bellinzona	49	39	30	17	58	54	41	25
Bellinzona - Luzern	47	38	28	16	56	52	39	24
Luzern - Chiasso .	47	37	29	17	56	51	40	25
Chiasso - Luzern .	45	36	25	17	55	50	40	22
Luzern - Luino . .	44	40	29	18	54	53	41	25
Luino - Luzern . .	43	39	26	17	53	51	39	24

Als *Beschleunigungen* wurden für den Zukunftsverkehr solche angenommen, die sich mit Triebfahrzeugen erzielen lassen, welche beim Anfahren eine Leistung gleich $^5/_4$ der Normalleistung geben, wobei in Anbetracht des Längenprofils der Bahn als Normalleistung diejenige im Beharrungszustand auf 26 ‰ Steigung festgesetzt wurde. Man kann auf diese Weise im allgemeinen jene, gegenüber dem Dampfbetrieb erhöhten Beschleunigungen erzielen, die schon auf Seite 15 als wünschenswert bezeichnet wurden, nämlich von 0,3 m/Sec² für Personenzüge, 0,2 m/Sec² für Schnellzüge und 0,1 m/Sec² für Güterzüge gegenüber bisher angewandten maximalen von 0,15, bezw. 0,10 m/Sec².

Grundlagen der Verkehrsstatistik. Für die in Rechnung zu ziehenden Zugsgewichte und Zugszahlen und die Aufstellung des Fahrplans überhaupt wurde für die Bearbeitung der endgültigen Projekte die Verkehrsstatistik eingehend zu Rate gezogen. Es stunden nunmehr auch neue Detailzahlen über den Verkehr von 1907 zur Verfügung, ausser den früher verwendeten von 1904.

Die Statistik ergab vor allem bedeutende Unterschiede zwischen dem *maximalen* und dem *mittleren Verkehr*, welche für die Fahrplanbildung massgebend sein mussten und durch folgende Zahlen illustriert werden:

Es betrug, gerechnet für das angehängte Zugsgewicht

Die Verkehrsarbeit der Gotthardbahn pro Tag

in Brutto-Tonnenkilometer rund, im Jahre 1907:

	im Mittel	im Maximum
Für die Schnellzüge . . .	810 000	1 303 000
„ „ Personenzüge . . .	369 000	558 000
„ „ Güterzüge	1 835 000	2 504 000

Dabei ist das „Mittel" aus der Jahresarbeit berechnet und das Maximum den je wirklich vorgekommenen Tagen höchster Verkehrsleistung entnommen. Zur Bewältigung dieser, besonders auffällig bei den Güterzügen auftretenden Ungleichheiten genügt eine Vermehrung der Zugs*zahl*, also die Führung von mehr fakultativen Zügen zu Zeiten des starken Verkehrs, nicht; es muss auch eine Erhöhung des mittleren und maximalen Gewichts bestimmter Zugsnummern vor sich gehen. Rein verkehrstechnische Gründe bedingen ferner bei Güterzügen, dass die Transportmengen oft auf mehr Züge verteilt werden müssen als nach dem zulässigen Maximalgewichte erforderlich wäre. Zur Zeit des maximalen Verkehrs zeigt sich auch ein bedeutender Mehrtransport von Süd nach Nord als in der Gegenrichtung, während im Mittel das Verhältnis eher umgekehrt ist.

Im übrigen lieferte die Verkehrsstatistik die mittleren Zugsgewichte auf den einzelnen Strecken, und zwar die Mittelwerte des ganzen Jahres und die „mittleren Maximalgewichte", d. h. die aus der Verkehrsarbeit eines Tages des Maximalverkehrs sich ergebenden Tagesmittel, alles zunächst als Totalgewichte der Züge. Nach Abzug der bekannten Lokomotivgewichte ergaben sich die betreffenden Zahlen für das „angehängte Gewicht". Der Verkehrssteigerung entsprechende höhere Annahmen über dieses „angehängte" mittlere Zugsgewicht der einzelnen Strecken bei mittlerem und maximalem Verkehr führten dann, unter Zurechnung der Gewichte der neuen Triebmittel (der elektrischen Lokomotiven, bezw. der elektrischen Ausrüstung der Motorwagen), zu den zukünftigen, mittleren Gesamtzugsgewichten.

Die unter Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse entstandenen Festsetzungen für den *Fahrplan* des zukünftigen elektrischen Betriebs weisen nun nebenstehende Hauptdaten bezüglich der Zugs*zahl* und der Zugs*gewichte* auf, bei deren Würdigung zu bedenken ist, dass zufolge der kleineren Triebmittelgewichte dasselbe Gesamtzugsgewicht beim elektrischen Betrieb ein wesentlich grösseres angehängtes Zugsgewicht als beim Dampfbetrieb ergibt.

Diese Uebersicht zeigt zunächst die bedeutende *Vermehrung der Zugszahl.* Bei den *Schnellzügen* ist schon für den regelmässigen Dienst in jeder Richtung ein Zug mehr als gegenwärtig eingestellt, und am Maximalverkehrstag vor Ostern ausserdem 3 Supplementszüge, sowie 4 sogenannte Italienerzüge. Ihrer neuen Geschwindigkeit und ihrem Charakter nach sind die bisherigen „Schnellzüge" der Strecke Bellinzona-Locarno unter die *Personenzüge* eingereiht, deren Zahl übrigens auf allen Strecken am bedeutendsten erhöht ist, was der angenommene Motorwagenbetrieb erleichtert: Auf der ganzen Hauptstrecke Luzern-Chiasso und zwischen Bellinzona und Luino verkehrt in jeder Richtung ungefähr alle 3 Stunden, auf den verkehrsdichtern Strecken Luzern-Erstfeld, Zug-Goldau, Biasca-Chiasso und Bellinzona-Locarno dagegen alle 1½ Stunden ein Zug. Für die *Güterzüge* ist da, wo der Maximalverkehr auf der Hauptstrecke in einer Richtung mehr Züge aufweist als in der andern, mindestens die grössere maximale Zugszahl angenommen, soweit nicht die Einspurigkeit (Bellinzona-Chiasso) dies verunmöglicht; im übrigen ist überall eine allgemeine starke Vermehrung entsprechend dem Verkehre zugrundegelegt.

Die allgemeine Einteilung des Fahrplans wurde genau dem Bedürfnis angepasst: Für die bestehenden Schnellzüge sind die Anschlüsse in Luzern durch Beibehaltung der bisherigen Ankunfts- und Abfahrtszeiten gesichert; die übrigen und Supplementschnellzüge sind entsprechend eingeordnet, und zwar so, dass höchstens 3 Schnellzüge sich gleichzeitig auf grösserer Steigung derselben Bergrampe befinden); die Personen- und Güterzüge, erstere in den oben genannten zeitlichen Abständen, sind sodann mit Rücksicht auf die Geleisebelegung und den Kraftbedarf auf die Zwischenzeiten verteilt.

Tab. zu

isherigen Dampf-Betrieb.

Z	gsgewichte in Tonnen				
	Zukünftiger elektrischer Betrieb				
	Angehängte Gewichte		Triebmittel-Gewichte	Gesamt-Zugsgewichte	
rd	Durchschnitts-Verkehr	Maximal-Verkehr		Durchschnitts-Verkehr	Maximal-Verkehr
Luzer	200	300	100	300	400
Zug-(	120	200	35	155	235
Golda					
Erstfe					
Biasc	280	320	100	380	420
Beller					
Beller5	100	150	35	135	185
Beller	—	—	—	—	—
Luzer					
Luzer	100	150	20	120	170
Luzer					
Luzer	150	200	35	185	235
Zug-(	100	150	35	135	185
Golda	—	—	—	—	—
Golda	—	—	—	—	—
Erstfe	—	—	—	—	—
Biasc					
Beller5	100	150	35	135	185
Beller5	100	150	20	120	170
Beller	100	150	20	120	170
Lugar	—	—	—	—	—
Luzer	210	400	80	290	480
Zug-(	480	500	80	560	580
Golda	480	500	80	560	580
Erstfe	310	320	80	390	400
Biasc	560	560	80	640	640
Belle	310	320 u. 400	80	390	400 u. 480
Belle	480	500	80	560	580
Belle	130	400	80	210	480

Tab. zu pag. 72.

Verkehrsarbeit und erforderliche totale und spezifische mechanische Arbeit und mittlere Leistung am Radumfang beim projektierten zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Für die Zugsart:	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total
	Für einen Tag, im Durchschnittsverkehr								Für einen Tag, im Maximalverkehr							
Für das Gebiet:	Verkehrsarbeit in Tausenden von Brutto-Tonnen-Kilometern des Gesamtzugsgewichts				Totale mechanische Arbeit am Radumfang in Tausenden von Pferdekraftstunden				Verkehrsarbeit in Tausenden von Brutto-Tonnen-Kilometern des Gesamtzugsgewichts				Totale mechanische Arbeit am Radumfang in Tausenden von Pferdekraftstunden			
Reussgebiet	610	268	1035	1913	30,0	12,0	42,0	84,0	1050	354	1497	2901	50,9	15,8	60,0	126,7
Nördlicher Tessin . .	547	179	1244	1970	29,3	9,1	48,8	87,2	941	230	1729	2900	49,9	12,0	55,6	129,5
Südlicher Tessin . . .	408	324	757	1489	21,6	15,6	24,8	62,0	669	439	1106	2213	35,3	21,4	34,3	91,0
Ganzer Tessin . . .	957	503	2001	3459	51,0	24,8	73,3	149,1	1609	669	2835	5113	85,2	33,3	102,0	220,5
Ganze Gotthardbahn .	1566	771	3036	5372	81,0	36,8	115,3	233,1	2659	1024	4332	8015	136,1	49,1	162,0	347,2
	Spezifische mechanische Arbeit am Radumfang in Wattstunden pro Tonnen-Kilometer				Mittlere Leistung am Radumfang für den Durchschnitts-Werktag in Pferdestärken				Spezifische mechanische Arbeit am Radumfang in Wattstunden pro Tonnen-Kilometer				Mittlere Leistung am Radumfang für einen Tag des Maximalverkehrs in Pferdestärken			
Reussgebiet	36	33	20	32	1250	500	1750	3500	36	33	29	32	2120	660	2500	5280
Nördlicher Tessin . .	39	38	29	34	1220	380	2030	3630	39	38	29	33	2080	500	2320	5400
Südlicher Tessin . . .	39	36	24	31	900	650	1030	2580	39	36	23	30	1470	890	1430	3790
Ganzer Tessin . . .	39	36	27	32	2120	1030	3060	6210	39	37	27	32	3550	1390	4250	9190
Ganze Gotthardbahn .	38	36	28	32	3370	1530	4810	9710	38	36	28	32	5670	2050	6750	14470

Ueber die erzielte *Steigerung der Verkehrsarbeit* gibt Auskunft die nachstehende

Übersicht der Verkehrsarbeit der Gotthardbahn beim zukünftigen elektrischen im Vergleich zum bisherigen Dampfbetrieb

in Millionen Brutto-Tonnenkilometern des angehängten Zugsgewichts.

Für die Zugsgattung:	Im Durchnittsverkehr:				Im Maximalverkehr:		
	per Jahr			per Tag	per Tag		
	Dampfbetrieb 1904	Dampfbetrieb 1907	Elektr. Betrieb	Elektr. Betrieb	Dampfbetrieb 1904	Dampfbetrieb 1907	Elektr. betrieb
Schnellzüge . .	213	296	418	1,145	0,643	1,303	2,033
Personenzüge .	122	135	226	0,620	0,320	0,558	0,874
Güterzüge. . .	441	670	793	2,470	1,574	2,504	3,585
Insgesamt	776	1101	1437	4,242	2,537	4,365	6,492

Die *Verkehrsarbeit,* ausgedrückt in *angehängten* Brutto-Tonnenkilometern, ist somit bei dem projektierten elektrischen Betriebe *im Mittel* rund *185%* derjenigen von *1904* und *130%* derjenigen von *1907*, am *Maximal*tage rund *255%* derjenigen von *1904* und *150%* derjenigen von *1907*. Sie wird nahe an das heranreichen, was mit Rücksicht auf die Bahnanlage auf der Gotthardbahn durchführbar ist.

Der Kraftbedarf beim zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Die nachstehenden Angaben bezwecken, die Grundlagen der Berechnung des Kraftbedarfs vorzuführen und zu zeigen, welches Mass der Sorgfalt und Genauigkeit auf die Aufgabe verwendet wurde.

Der Arbeitsbedarf an den Schienen. Die Ermittlung des *Bedarfs an täglicher und jährlicher Arbeit* an den Schienen, d. h. *am Umfange der Triebräder* geschah streng nach dem angenommenen Fahrplan sowohl bezüglich Anfahrten als den Geschwindigkeiten an jeder Stelle. Für die *Reibungsarbeit* wurde, unter Zugrunde-

legung neuerer Untersuchungen über die Aenderung des Rollwiderstandes mit der Geschwindigkeit und der Art der Zugskompositionen ein mittlerer Rollwiderstand errechnet dadurch, dass jedem nach Massgabe von Längenprofil und Fahrplangeschwindigkeit vorkommenden Einzelwert des Rollwiderstandes in der Mittelrechnung das ihm nach Massgabe der Streckenlängen zukommende Gewicht beigelegt wurde. In gleicher Weise wurde unter Anwendung der Röckl'schen Formel für den Kurvenwiderstand, entsprechend den vorkommenden Radien und zugehörigen Längen der Fahrstrecken, der wahre mittlere Kurvenwiderstand bestimmt und so der totale mittlere Rollwiderstand für die Fortbewegungsarbeit erhalten.

Die *Hebungsarbeit* ergibt sich mathematisch genau aus den totalen Zugsgewichten und Höhendifferenzen allein.

Transportmengen und Zugsgewichte wurden genau nach oben angegebenen Annahmen in Rechnung gebracht.

Arbeitsrückgewinn durch *Rekuperation* ist aus den auf Seite 41 ff. angegebenen Gründen *nicht* angenommen; sollte man später doch zu deren Verwendung kommen, so würde sich das Resultat für die elektrische Traktion entsprechend günstiger gestalten. Die *Anfahrenergie* ist aus den Endgeschwindigkeiten ebenfalls mathematisch bestimmbar. Die *Rangierarbeit* fällt den bisherigen Dampf-Rangierlokomotiven zu.

Für die *elektrische Beleuchtung* der Züge ist ein später berücksichtigter Zuschlag zu machen, da auch diese Energie dem Fahrdraht entnommen wird. Besondere Rechnungen wie die Erfahrung erwiesen diesen Bedarf als sehr klein; er erreicht nur einige Prozente der Traktionsarbeit. Auch für die *Heizung* ist, soweit die Energie dafür elektrisch zugeführt wird (siehe darüber Seite 103) später ein entsprechender Betrag zugerechnet.

Die Ermittlung der Tages- und Jahresarbeit wurde mit Rücksicht auf die Lieferung aus verschiedenen Unterstationen und Kraftwerken gebietsweise gesondert vorgenommen.

Das Ergebnis gibt die nebenstehende Tabelle an, in der durch Division der Tagesarbeit durch die 24 Stunden des Tages auch die *mittlere Tagesleistung* in Pferdekräften, sowie durch Division der Energie (umgerechnet aus Pferde-

Tab. zu pag. 72.

Verkehr am Radumfang

Für die Zugsart:	Schnellzüge	Personenzüge	Güterzüge	Total
	im Maximalverkehr			
Für das Gebiet:	Totale mechanische Arbeit am Radumfang in Tausenden von Pferdekraftstunden			
Reussgebiet	50,9	15,8	60,0	126,7
Nördlicher Tessin . .	49,9	12,0	55,6	129,5
Südlicher Tessin . . .	35,3	21,4	34,3	91,0
Ganzer Tessin . . .	85,2	33,3	102,0	220,5
Ganze Gotthardbahn .	136,1	49,1	162,0	347,2
	Mittlere Leistung am Radumfang für einen Tag des Maximalverkehrs in Pferdestärken			
Reussgebiet	2120	660	2500	5280
Nördlicher Tessin . .	2080	500	2320	5400
Südlicher Tessin . . .	1470	890	1430	3790
Ganzer Tessin . . .	3550	1390	4250	9190
Ganze Gotthardbahn .	5670	2050	6750	14470

Tab. zu pag. 70.

Zugszahlen und Zugsgewichte der Gotthardbahn für den zukünftigen elektrischen im Vergleich zum bisherigen Dampf-Betrieb.

Zugsgattung und Teilstrecken	Anzahl der täglichen Züge						Mittlere Zugsgewichte in Tonnen								
	Dampfbetrieb 1904		Dampfbetrieb 1907		Zukünftiger elektrischer Betrieb		Gesamtzugsgewichte beim elektr. Betrieb entsprechend dem Dampfbetrieb 1904				Zukünftiger elektrischer Betrieb				
							Durchschnittsverkehr		Maximalverkehr		Angehängte Gewichte		Triebmittel-Gewichte	Gesamt-Zugsgewichte	
	Durchschnitt	Maximum	Durchschnitt	Maximum	Durchschnitt	Maximum	Nord-Süd	Süd-Nord	Nord-Süd	Süd-Nord	Durchschnitts-Verkehr	Maximal-Verkehr		Durchschnitts-Verkehr	Maximal-Verkehr
Schnellzüge.															
Luzern-Goldau-Luzern	10	17	14	22	18	24	172,5	160	172	172	200	300	100	300	400
Zug-Goldau-Zug	10	11	13	14	14	15	145	115,5	125	125	120	200	35	155	235
Goldau-Erstfeld-Goldau							246	228,5	254	254					
Erstfeld-Biasca-Erstfeld	10	19	14	24	18	28	233,5	228,5	254	254	280	320	100	380	420
Biasca-Bellenz-Biasca							233,5	228,5	254	254					
Bellenz-Chiasso-Bellenz					18	27	218	218	242	242					
Bellenz-Luino-Bellenz	4	4	6	6	6	6	135	95	102,5	102,5	100	150	35	135	185
Bellenz-Locarno-Bellenz	3	3	3	3	—	—	95	95	100	100	—	—	—	—	—
Personenzüge.															
Luzern-Goldau-Luzern	3	3	3	3	10	10	110	124	112	127	100	150	20	120	170
Luzern-Erstfeld-Luzern															
Luzern-Göschenen-Luzern	2	2	10	10	10	10	68	65	65	65	150	200	35	185	235
Luzern-Chiasso-Luzern	8	8													
Zug-Goldau-Zug	8	8	8	8	14	14	78	97,5	80	100	100	150	35	135	185
Goldau-Brunnen-Goldau	2	2	2	2	—	—					—	—	—	—	—
Goldau-Erstfeld-Goldau	—	—	—	—	—	—	117	137	134	150	—	—	—	—	—
Erstfeld-Biasca-Erstfeld	—	—	—	—	—	—			139	139	—	—	—	—	—
Biasca-Bellenz-Biasca	—	—	—	—			124	124	146	139					
Bellenz-Chiasso-Bellenz	—	—	—	—	12	12	152	151	148,5	148,5	100	150	35	135	185
Bellenz-Luino-Bellenz	4	4	6	6	14	14	141,5	141,5	141,5	141,5	100	150	20	120	170
Bellenz-Locarno-Bellenz	9	9	13	13	26	26	76,5	75	75	75	100	150	20	120	170
Lugano-Chiasso-Lugano	—	—	4	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Güterzüge.															
Luzern-Goldau-Luzern	4	5	4	6	6	8	196	198	265	454	210	400	80	290	480
Zug-Goldau-Zug	6	7	9	13	6	12	372	374	387	504	480	500	80	560	580
Goldau-Erstfeld-Goldau	19	27	29	39	26	34	448	451	380	488	480	500	80	560	580
Erstfeld-Biasca-Erstfeld	22	30	32	46	40	54	295	296	244	312	310	320	80	390	400
Biasca-Bellenz-Biasca	14	21	20	28	24	34	511	511	400	511	560	560	80	640	640
Bellenz-Chiasso-Bellenz	13	17	18	23	24	15 + 12	318	338	307	326	310	320 u. 400	80	390	400 u. 480
Bellenz-Luino-Bellenz	9	14	12	22	10	18	406	408	303	505	480	500	80	560	580
Bellenz-Locarno-Bellenz	2	2	2	2	4	4	217	219	237	380	130	400	80	210	480

kraftstunden in Wattstunden), durch die Zahl der Verkehrseinheiten, der Brutto-Tonnenkilometer, auch der *spezifische Energieverbrauch in Wattstunden pro Tonnenkilometer des Gesamtzugsgewichts*, als charakteristische Zahl für einen elektrischen Betrieb, angegeben ist. Diese *spezifische Arbeit* zeigt für die einzelnen Zugsgattungen grosse Gleichmässigkeit und, wie theoretisch erklärlich, wesentlich dieselben Werte für den maximalen Verkehr wie für den Durchschnitt; die Veränderung dieses Werts von Zugsart zu Zugsart entspricht der Vermehrung der Arbeit zur Aufwendung des Rollwiderstandes (besonders des Luftwiderstands) bei grösseren Geschwindigkeiten. Der Aufstellung ist u. a. auch zu entnehmen, dass die Güterzüge nahezu die Hälfte der Gesamtenergie verbrauchen, die Personenzüge nur $^1/_7$. Die Tagesarbeit und die mittlere Tagesleistung sind beim Maximalverkehr insgesamt rund um die Hälfte grösser als für den Durchschnittstag.

Die Maximalleistung am Radumfang. Für die Bemessung der Kraftwerke, der Unterstationen und der Uebertragungsmittel ist die Kenntnis der maximalen Leistung nötig, welche der Bahnbetrieb des bedienten Gebiets erfordert. Dazu muss der zeitliche Verlauf der Leistung in PS oder KW ermittelt werden. Die Studienkommission hat die Arbeit nicht gescheut, bei den neuen Gotthardprojekten dafür die genauest mögliche Methode anzuwenden.

Dazu ist für einen ins Auge gefassten Zeitmoment genau nach dem Fahrplan die Lage aller Züge festgestellt, dafür aus dem Zugsgewicht, der vorhandenen Steigung und der zugehörigen Geschwindigkeit für jeden einzelnen Zug die Leistung für Fortbewegung, d. h. für Rollwiderstand und Steigung, berechnet. Für Züge, die sich in jenem Moment in der Anfahrt befinden, wird ebenso die zur Beschleunigung nötige Leistung gerechnet. Die Einzelleistungen für sämtliche Züge werden zur Gesamtleistung für den betreffenden Moment addiert. Dabei wurde für die Fortbewegungsleistungen mit den Maximalgeschwindigkeiten der betreffenden Strecken gerechnet, denn diese können theoretisch gleichzeitig überall vorkommen, wenn dies auch im allgemeinen nicht der Fall sein wird. Für die Beschleunigung wurde das in der Praxis angewendete

Verfahren vorausgesetzt, welches nicht konstantem Wert der Beschleunigung entspricht, sondern einem Anfahren mit beschränkter Maximalleistung (die zu $^5/_4$ der Normalleistung angenommen wurde), beziehungsweise der Beschränkung der Stromaufnahme auf ein zulässiges Maximum. Es können dabei die früher erwähnten Beschleunigungswerte (0,1 bezw. 0,2 und 0,3 m/Sec^2 bei Güter- bezw. Personen- und Schnellzügen) erreicht werden mit *Anfahrleistungen* pro Gewichtseinheit des Zuges, wie sie die nachstehende Tab. neben den *Fortbewegungsleistungen* ausweist:

Spezifische mechanische Leistungen am Radumfang für Fortbewegung und Anfahren

bei verschiedenen Steigungen und zugehörigen Geschwindigkeiten, beim zukünftigen elektrischen Betriebe.

	Auf der Steigung von ‰					
	0	5	10	15	20	26
beträgt:	Für Schnellzüge mit Lokomotivbetrieb:					
Geschwindigkeit . . . . km/h	90	80	70	60	55	50
Leistung für:						
Fortbewegung						
in der Geraden . . .PS/t	3,2	3,9	4,4	4,6	5,1	5,7
in Kurven, R = 300 m ,,	4,1	4,6	5,0	5,2	5,7	6,2
Anfahren, maximal . . ,,	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
	Für alle Züge mit Motorwagenbetrieb:					
Geschwindigkeit . . . . km/h	75	70	60	56	53	50
Leistung für:						
Fortbewegung						
in der Geraden . . .PS/t	2,1	3,1	3,5	4,2	4,9	5,7
in Kurven, R = 300 m ,,	2,8	3,7	4,1	4,8	5,4	6,2
Anfahren, maximal . . ,,	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
	Für Güterzüge:					
Geschwindigkeit. . . . km/h	45	45	45	40	37	35
Leistung für:						
Fortbewegung						
in der Geraden . . .PS/t	0,7	1,5	2,4	2,8	3,2	3,8
in Kurven, R = 300 m ,,	1,1	2,0	2,8	3,2	3,6	4,1
Anfahren, maximal . . ,,	2,0	2,4	2,9	3,3	3,7	4,2

Diese spezifischen Leistungen sind mit den Zugsgewichten zu multiplizieren, wie sie für Mittel und Maximum auf der Tabelle zu Seite 70 angegeben sind, unter Zuzählung des Gewichts der projektierten Triebmittel Lokomotiven und Motorwagenausrüstungen, wie sie auf Seite 90 angegeben sind.

Die Zusammenzählung der Leistungen für alle einzelnen Züge in einem gewählten Moment zum momentanen Totaleffekt, der Gesamtleistung, umfasste für die ganze Gotthardbahn jeweilen etwa 12 bis 15 Züge bezw. Zugseffekte. Es ist nun praktisch natürlich unmöglich, dieses Verfahren für jeden Moment auszuführen, wie dies für eine absolut genaue Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der erforderlichen Leistung nötig wäre; man muss sich mit einer beschränkten Zahl von Punkten begnügen. Im vorliegenden Falle wurde zunächst von 10 zu 10 Minuten (die ganzen Zehner-Minuten der Uhr) eine Summation ausgeführt, wobei, weil zu diesen „geraden Zeiten" verhältnismässig viele Züge anfahren, durchschnittlich 3 bis 4 der 12 bis 15 Zugseffekte solche für Anfahrt waren, während im Mittel nur etwa eine Anfahrt auf die Minute entfällt. In Wirklichkeit werden nicht so viele Anfahrten genau zu jenen Zehner-Minuten vor sich gehen. Sowohl aus diesem Grunde, als auch weil überall die Maximalgeschwindigkeit als wirkliche angenommen wurde, werden die so erhaltenen Gesamtleistungen zu hoch gerechnet sein.

Anderseits könnte das absolute Maximum auch zu einer andern Zeit, *zwischen* diesen Zehner-Minuten, eintreten. Daher wurde für die Stunde allgemein stärkster Belastung der einzelnen Gebiete alle *fünf* Minuten, zur kritischen Zeiten wo es notwendig erschien auch in noch kleinern Zwischenräumen, z. B. jede Minute die Summation der Einzeleffekte vorgenommen und dabei noch einige, zum Teil etwa 5—10, vereinzelt bis 20% höhere Maxima als zu den Zehner-Minuten festgestellt; diese Maxima werden mit Sicherheit die höchstmöglichen sein. Auch sie werden vermutlich aus den oben angegebenen Gründen tatsächlich nicht ganz in dieser Höhe eintreten, wohl höchstens in Ausnahmefällen. Die Maximalleistungen ergaben sich derart für die einzelnen Gebiete und die ganze Bahn wie in folgender Zusammenstellung, wobei

das „Reuss-Gebiet" bis und mit dem Bahnhof Göschenen gerechnet, die Grenze zwischen „nördlichem und südlichem Tessin" im Bahnhofe Bellinzona gedacht ist.

Erforderliche Maximalleistungen am Radumfange für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn

Für das Gebiet:	in Pferdestärken: Im Durchschnittsverkehr:	Im Maximalverkehr:
Reussgebiet	10 530	15 240
Nördlicher Tessin . .	10 170	12 370
Südlicher Tessin . .	9 300	13 880
Ganzer Tessin . . .	13 700	20 760
Ganzer Kreis V . .	21 820	31 840

Das Verhältnis der maximalen zur mittleren Leistung am Radumfang. Vergleicht man diese maximalen Leistungen mit den in der Tabelle zu Seite 72 enthaltenen *mittleren* Leistungen, so ergeben sich folgende

Verhältniszahlen, bezogen auf die Leistungen am Radumfange, für den zukünftigen elektrischen Betrieb der G.-B.

Für das Gebiet:	der Maximalleistung eines Tages des Durchschnittsverkehrs zur mittleren Leistung desselben Tages	der Maximalleistung eines Tages des Maximalverkehrs zur mittleren Leistung desselben Tages	der Maximalleistung eines Tages des Maximalverkehrs zur mittleren Leistung des Durchschnittstages
Reussgebiet . . .	3,0	2,9	4,4
Nördlicher Tessin .	2,8	2,3	3,4
Südlicher Tessin .	3,6	3,7	5,4
Ganzer Tessin . .	2,2	2,2	3,3
Ganzer Kreis V .	2,2	2,2	3,3

Die Zahlen der ersten zwei Kolonnen zeigen die Ausnützung der Kraft je während einer gewissen Jahreszeit; für die Bemessung der Leistungsfähigkeit der Anlagen

kommen die Zahlen der letzten Kolonnen in Betracht, und zwar die der einzelnen Gebiete für die betreffenden Speisepunkte (Transformatorenstationen), die Zahlen der Zusammenfassung mehrerer Gebiete jeweilen für die sie speisenden Kraftwerke. Doch sind diese Zahlen noch nicht unmittelbar für letztere zu benützen: sie beziehen sich auf Leistungen am Radumfang und sind daher vorerst zu ergänzen durch die Hinzufügung der Verluste an Leistung, beziehungsweise Arbeit, von den Kraftwerken bis dorthin.

Die Verluste in den Zwischenmitteln von den Kraftwerken bis an die Triebräder, d. i. in den Triebmotoren, ihren Zubehörden und Antriebsmechanismen, den Fahrdraht- und Speiseleitungen, den diese selbst speisenden Transformatoren der Unterstationen, in den Uebertragungsleitungen zu diesen von den Kraftwerken aus, und in den Auftransformatoren, Generatoren und Turbinen der letztern selbst. In allen diesen Zwischenmitteln wechseln die Verluste sehr stark mit deren Beanspruchung (Leistung); der Verlauf des Wirkungsgrades als Funktion der Leistung ist bekannt; damit sind die Verluste für jeden Betriebszustand jedes Teils und des Ganzen bestimmbar. Praktisch kann diese Rechnung natürlich nicht für jeden Moment des Tages oder Jahres vorgenommen werden wegen des enormen Umfanges, den sie annimmt. Anderseits wäre die blosse Abschätzung „mittlerer Beanspruchungen" und die daherige Annahme eines mittleren Wirkungsgrades zu ungenau. Seriöse Berechnungsmethoden dieser Verluste bezw. Wirkungsgrade ergeben sich, wenn man die mittlere vorkommende Beanspruchungsart der Motoren und der übrigen Triebmittel nach den tatsächlichen Verkehrsverhältnissen derart ermittelt, dass jeder Einzelzustand mit seinem „Gewicht", d. h. der Häufigkeit seines Vorkommens, in die Berechnung des Mittels eintritt. Die Studienkommission hat dafür folgende Methode verwendet, die zuverlässige Resultate ergeben muss:

Das Verhalten von *Wirkungsgrad und Leistungsfaktor* der *Triebmittel* als Funktion der wirklich vorkommenden Zugkraft und ebenso der Geschwindigkeit, wie es in den Kurven auf Seite 24—27 für einige Triebmittel angegeben ist, wurde für die in Betracht kommenden Triebmittel zugrunde gelegt.

Dazu lässt sich die *wahre mittlere Geschwindigkeit* für die drei Triebfahrzeugsarten aus dem Fahrplan und der Diensteinteilung der letztern genau ermitteln, indem man die durchlaufene Strecke (den sogenannten „Parcours") aller Triebfahrzeuge derselben Art durch deren Gesamtdienstzeit dividiert. Es ergibt sich so, z. T. aus weiterhin noch zu erwähnenden Zahlen, folgendes:

Wahre mittlere Geschwindigkeiten der Triebfahrzeuge für den zukünftigen elektrischen Betrieb der G.-B.

Art der Triebfahrzeuge:	Durchschnittsverkehr:			Maximalverkehr:		
	Durchlaufene Kilometer	Dienstzeit in Stunden	Mittlere Geschwindigkeit in km/Std.	Durchlaufene Kilometer	Dienstzeit in Stunden	Mittlere Geschwindigkeit in km/Std.
Schnellzugslokomotiven . . .	4050	82	49,4	6133	124	49,4
Motorwagen . .	5572	134	41,6	5572	134	41,6
Güterzugslokomotiven . . .	6682	302	22,1	9333	378	24,7
Insgesamt	16304	518	31,5	21038	636	33,0

Anderseits ist die *mittlere Leistung* jeder Triebfahrzeugsart schon aus den früher berechneten Leistungen am Radumfange bekannt. Es ergibt sich:

Mittelwerte der Leistung der drei Triebfahrzeugsarten in PS gemessen am Radumfang für alle im Dienst befindlichen Triebfahrzeuge beim zukünftigen elektr. Betrieb der G.-B.

für:	am Tage des Durchschnittsverkehrs:	am Tage des Maximalverkehrs:
Schnellzugslokomotiven	3260	5520
Motorwagen	1640	2200
Güterzugslokomotiven .	4810	6750
Insgesamt	9710	14470

Aus diesen mittleren Leistungen und den vorher bestimmten mittleren Geschwindigkeiten sind die entsprechenden *mittleren Zugkräfte* und deren *Verhältnis zu den normalen* Zugkräften berechenbar. Die Ergebnisse sind nachstehend zusammengestellt mit denjenigen der vorher bestimmten Verhältnisse der mittleren Geschwindigkeiten zu den normalen:

Ausnutzung der Triebfahrzeuge im Tagesmittel beim zukünftigen elektrischen Betrieb der G.-B.

für:	im Durchschnittsverkehr:			im Maximalverkehr:		
	Anzahl	Mittlere Zugkräfte / Normale Zugkräfte	Mittlere Geschw. / Normale Geschw.	Anzahl	Mittlere Zugkräfte / Normale Zugkräfte	Mittlere Geschw. / Normale Geschw.
Schnellzugslokomotiven . . .	7	0,23	0,99	10	0,25	9,99
Motorwagen . .	14	0,17	0,83	14	0,22	0,83
Güterzugslokomotiven . . .	24	0,22	0,63	29	0,23	0,71
Insgesamt	45	0,20	0,75	53	0,23	0,79

Diesen Verhältniszahlen hinwieder entsprechen nun ganz bestimmte mittlere *Wirkungsgrade* und *Leistungsfaktoren* der drei Fahrzeugsarten, die aus für die letztern bekannten Zahlen-Tabellen entnommen werden konnten, die u. a. den Kurven auf Seite 24—27 zugrunde lagen. Die Ergebnisse finden sich in der Zusammenstellung auf Seite 80. Als wichtige Vergleichszahl ist darin noch der *spezifische Verbrauch elektrischer Energie pro Einheit der Verkehrsarbeit*, in Wattstunden pro Tonnenkilometer, eingesetzt, und zwar zunächst so wie er sich aus der Zahl der Brutto-Tonnenkilometer des Gesamtzugsgewichts (Tabelle zu Seite 72) und der erforderlichen Arbeit pro Tag (Tabelle zu Seite 72) verzeichneten mittleren Leistung mal 24 Stunden *am Radumfang* ergibt, und sodann, umgerechnet mit dem danebenstehenden Wirkungsgrad, *„am*

Fahrdraht", d. h. für die Energie in elektrischer Form an der Stelle der Zufuhr zum Fahrzeug.

Güte der Wirkung und Energieverbrauch der Triebfahrzeuge im Mittel

Triebfahrzeuge:	beim Durchschnittsverkehr:				beim Maximalverkehr:			
	Wirkungsgrad in %	Leistungsfaktor	Energieverbrauch Wattstd./tkm		Wirkungsgrad in %	Leistungsfaktor	Energieverbrauch Wattstd./tkm	
			am Radumfang	am Fahrdraht			am Radumfang	am Fahrdraht
Schnellzugslokomotiven . . .	68	0,48	38	56	70	0,52	38	55
Motorwagen . .	60	0,40	35	57	64	0,45	35	54
Güterzugslokomotiven . . .	72	0,90	29	40	73	0,91	27	38
Insgesamt	68	0,58	32	47	70	0,62	32	46

Die so bestimmten Mittelwerte der Wirkungsgrade kommen nun für die Bestimmung des *mittleren* Energieverbrauchs oder des *Tages-Arbeitsverbrauchs* für mittleren und maximalen Verkehr, sowie für den *Jahres-Arbeitsverbrauch* am Fahrdraht zur Anwendung. Für die Ermittlung der *maximalen* Leistungen am Fahrdraht treten dagegen die Wirkungsgrade für die zugehörige stärkere Ausnützung der Triebmittel ins Spiel, die naturgemäss grösser sind. Sie sind in ähnlicher Weise wie die mittleren aus der zu den Maximalzeiten vorkommenden Leistung, Geschwindigkeit und Zugkraft genau bestimmbar; so ergibt sich z. B. der Wirkungsgrad der Fahrzeuge bei der Maximalbelastung für alle Triebfahrzeuge ineinander gerechnet im Durchschnittsverkehr zu 75 % gegen 68 % im Mittel, und derjenige für den Moment der *absoluten Maximalleistung* zu 78 % gegenüber 70 % im Mittel des Maximalverkehrs.

Die Berechnung der Verluste im *Fahrdraht*, in den diesen speisenden *Streckentransformatoren*, in den *Uebertragungsleitungen* zu diesen, sowie in den *Generatoren und*

Auftransformatoren der Kraftwerke ist auf Grund der bekannten mittleren und maximalen Leistung bezw. Beanspruchung dieser Bestandteile in einer für die Praxis vollkommen genügenden Annäherung leicht vorzunehmen. Da die Fahrdraht- und Uebertragungsleitungen nach zulässigen, nicht zu hohen Spannungsabfällen bei Maximalleistung zu berechnen bezw. zu dimensionieren sind, wie früher erwähnt, so sind die Arbeitsverluste in ihnen, besonders im Mittel, gering, weil sie dem Quadrate der übertragenen Stromstärke proportional sind. Für die Streckentransformatoren muss die Leistungsfähigkeit (Grösse) nach der absoluten Maximalleistung der bedienten Strecke bemessen werden. Es ist zwar nicht undenkbar, dass während etwa vorkommender längerer Perioden sicher vorauszusehenden geringeren Bedarfs einzelne derselben abgeschaltet und so deren Eisenverluste über diese Zeit vermieden werden könnten; bei den Berechnungen ist jedoch darauf keine Rücksicht genommen; die konstanten Eisenverluste in allen erforderlichen Transformatoren zwischen Uebertragungs- und Fahrleitung sind als das ganze Jahr vorhanden gerechnet. Die bedeutendsten weiteren Verluste treten in den Generatoren (mit den zugehörigen Transformatoren zur Spannungserhöhung) in den Kraftwerken auf. Auch diese müssen das absolute Maximum der Leistung abgeben können und sind daher im Mittel schlecht ausgenützt, ihr Wirkungsgrad ist im Mittel gering. Wird jedem Generator ein Transformator gleicher Leistung zugeordnet, so ist ohne Zweifel stundenweise und saisonweise die Ausserbetriebsetzung einzelner Aggregate durchführbar; es ist aber auch hiermit in den Projekten nicht gerechnet.

Unter Benützung von Verlustannahmen, die sicher nirgends überschritten werden, ergeben sich aus diesen Grundsätzen folgende Wirkungsgrade, denen wir auch die oben ermittelten der Fahrzeuge nochmals beisetzen, und die den weitern Rechnungen zugrunde liegen:

Wirkungsgrade vom Radumfang bis zu den Turbinenwellen für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Für den Anlageteil:	beim Durchschnittsverkehr:		beim Maximalverkehr:	
	bei der Maximalleistung des Tages	bei der mittleren Leistung des Tages	bei der Maximalleistung des Tages	bei der mittleren Leistung des Tages
Fahrzeuge	0,75	0,68	0,78	0,70
Fahrdraht	0,95	0,98	0,94	0,97
Transformatoren . .	0,97	0,94	0,97	0,94
Uebertragungsleitungen	0,93	0,98	0,90	0,96
Generatoren mit Transformatoren . . .	0,88	0,81	0,89	0,83
Insgesamt	0,56	0,50	0,57	0,51

Der Kraftbedarf ab Kraftwerken. Hiemit ergeben sich nun aus den früher (Seite 71 ff.) angegebenen Werten für die Maximalleistung und die Tages- und Jahresarbeit am Triebradumfang folgende Werte für das

Krafterfordernis an den Turbinenwellen der Kraftwerke für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Für das Gebiet:	Maximalleistung in PS	Maximale Tagesarbeit in PS-Stunden	Jahresarbeit in PS-Stunden
Reussgebiet . .	27 000	250 000	58 000 000
Nördlicher Tessin	22 000	260 000	59 000 000
Südlicher »	25 000	180 000	43 000 000
Ganzer »	37 000	440 000	102 000 000
Ganzer Kreis V	56 000	690 000	160 000 000

Für die Berechnung des *Wasserhaushalts* der Kraftwerke ist noch die Kenntnis des *Wirkungsgrads der Turbinen* wichtig, denn von ihm hängt es ab, welche Wasser-

menge bei den vorkommenden, sehr wechselnden Leistungen der Turbinen jeweilen einer Arbeitseinheit (Pferdekraftstunde) an den Turbinenwellen entspricht. Diese Wirkungsgrade sind an Hand von Resultaten von Turbinen neuerer Konstruktion unter Mitwirkung von Turbinenbauern bestimmt worden. Sie dürfen darnach, mit Berücksichtigung der mit Abnützung der Turbinenschaufelung jeweilen eintretenden erheblichen Verschlechterung, höher angesetzt werden als man früher annahm und nach Resultaten älterer Konstruktionen annehmen musste, da es möglich ist, die Turbinenschaufelung der vorkommenden *mittleren* Leistung besser anzupassen, die Leerlaufverluste zu erniedrigen. Demgemäss konnten (als eher zu niedrig) folgende Zahlen angenommen werden:

Wirkungsgrad der Turbinen der zukünftigen Gotthardbahn-Kraftwerke

für die bei der vorkommenden Maximalleistung der Kraftwerke vorkommende Beanspruchung	73 %;
im Mittel für einen Tag des Maximalverkehrs .	68 %;
im Jahresmittel für den Durchschnittsverkehr .	65 %.

Die Kraftwerke für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Die Lage des zentralen Teils der Gotthardlinie in nächster Nähe der bedeutenden Wasserkräfte des Reuss- und Tessin-Gebiets beantwortet ohne weiteres die Frage, welche Wasserkräfte für die Energiebeschaffung für den elektrischen Betrieb des Kreises V zu wählen seien. Demgemäss haben sich auch die schweizerischen Bundesbahnen die Gesamtwasserkräfte der Reuss von Andermatt bis Amsteg mit Inbegriff der Kräfte der Meienreuss, des Fellibachs und des Kärstelenbachs gesichert, ebenso den Ritom-See nebst Zu- und Abflüssen, die Tessinkraft beim Monte Piottino, dazu den Tremorgio-See, die Piumegna und die übrigen Gewässer der Leventina bis Lavorgo.

Die sehr gründlichen Studien des wassertechnischen Mitarbeiters der Kommission über die natürliche Wasserführung und den möglichen künstlichen Wasserhaushalt dieser Gewässer haben gezeigt, dass für den projektierten Zukunftsbetrieb der Ausbau folgender Gefällsstufen bezw. Werke genügt:

Für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn benützte Wasserkräfte und deren hydrographische Verhältnisse.

Gefällsstufe		Brutto-gefälle	Minimales Monatsmittel der Wassermenge	Einzugs-gebiet	Ungefährer nutzbarer Akkumulier-raum
von	bis zum Werk bei				
		m	m^3/Sec.	km^2	m^3
Urnerloch .	Göschenen .	370	1,97	192	22 000
Pfaffensprung	Amsteg [1]) . .	282	4,4	523	65 000
Ritom-See .	Piotta . . .	828	1,2 [2])	231	25 000 000 bis 32 000 000

[1]) Mit Einbezug des Fellibachs, Kärstelenbachs und Etzlibachs.
[2]) Dies ist die durchschnittliche jährliche Wassermenge.

An sich würden schon die beiden Werke Amsteg und Ritomsee eigentlich zur Speisung des Zukunftsverkehrs des ganzen Kreises genügen, wenn man sie entsprechend zusammenarbeiten lässt; auch mit den beiden Werken Amsteg und Göschenen liesse sich der Betrieb durchführen, wenn das Ritomwerk dazu nur für eine sehr reduzierte Leistung, die man als Zuschuss im Spätherbst brauchen würde, ausgebaut würde. Von beiden Erleichterungen ist in den Projekten abgesehen, um eine allzu bedeutende Überleitung von Energie durch den grossen Tunnel zu vermeiden und jede Seite des Gotthard so mit Werken auszurüsten, dass diese notfalls imstande sind, ihre eigene Seite ohne Verbindung mit der andern voll zu betreiben. Unter dieser Voraussetzung und derjenigen der bisher aufgetretenen längsten Dauer des Maximalverkehrs (2½ Monate von August bis Oktober), ergab sich ein Ausbau der Werke Amsteg und Göschenen (ausser dem Ritomwerk) auf 45 000 PS als reichlich genügend; es ist aber der grössern Sicherheit halber in den Projekten noch etwas weiter gegangen worden, wie folgende Aufstellung zeigt:

Leistungserfordernis und Ausbau der Kraftwerke für den zukünftigen Betrieb der Gotthardbahn.

Für das Gebiet:	An den Turbinenwellen der Kraftwerke		In den Kraftwerken:
	erforderliche Maximalleistung	installierte Turbinenleistung[1])	
	PS	PS	
Reussgebiet .	27 000	{ 20 000 { 30 000	Göschenen Amsteg
Tessingebiet .	37 000	37 500	Ritom (Piotta)
Ganzer Kreis V	56 000	87 500	

[1]) In Betrieb zu nehmende Maschinen, wozu die Reserveaggregate noch hinzukommen.

Macht man nun die denkbar ungünstigste Annahme über den *Maximalverkehr,* so wären dem Ritom-See etwa 24½ Millionen m³ zu entnehmen. Da der See gegenwärtig in ungestautem Zustande rund 25 Millionen m³ fasst und der Maximalverkehr überdies heute noch viel kleiner ist als angenommen, so sieht man, *dass vorläufig von einer Aufstauung des Ritom-Sees Umgang genommen werden kann.* In den Kostenanschlägen ist aber dennoch mit den Einrichtungen für eine Aufspeicherung um 7 m, d. h. auf rund 32 Millionen m³ Inhalt, gerechnet. Auch wenn der Zukunftsverkehr diesen Stauinhalt jährlich bis auf tiefstmögliche Absenkung verbrauchen würde, ist die Wiederauffüllung auch bei den ungünstigst vorkommenden Wasserverhältnissen möglich.

Beschreibung der Kraftwerke.

Die Anlage der Kraftwerke ist eingehend studiert worden, besonders ist im wasserbaulichen Teile, soweit als ohne eine genauere Terrain-Vermessung möglich war, die Gestaltung und Bauweise aller Objekte genau behandelt worden. Hier sei nur im grossen Ganzen die Gestaltung der Werke skizziert:

Ritomwerk. Dieses benützt den Ritomsee unter Absenkung und eventueller Aufstauung als Speicher, und das Gefälle von 828 m brutto zwischen ihm und dem Tessin bei

Piotta. 3 Druckrohrstränge, jeder normal für 15 000 PS, sollen dort schliesslich 7 Turbinen von je 7500 PS, gekuppelt mit Einphasengeneratoren von je 6000 KW und 16 000 Volt und 2 Erreger-Aggregate speisen. Die nicht direkt an den Fahrdraht abgegebene Energie wird auf 45 000 Volt auftransformiert.

Werk Göschenen. Hier wird das Wasser der Reuss vom Urnerloch bis ob Göschenen ausgenützt, vermittels horizontalem rechtsufrigem Stollen und 2 Druckrohrsträngen. Es wird 4 Maschinenaggregate zu 5000 PS und 2 Erregeraggregate enthalten.

Werk Amsteg. Ausser dem beim Pfaffensprung gefassten Reusswasser wirkt in dieser Anlage noch das Wasser des Etzli- und Kerstelenbaches mit 282 m Bruttogefälle durch 2 Rohrleitungen für je 15 000 PS. Das Maschinenhaus an der Reuss ob Amsteg wird für 5 Maschinenaggregate von je 7500 PS und zwei Erregergruppen eingerichtet.

Die Energieverteilungs- und Fahrdraht-Anlagen für die Gotthardbahn.

Allgemeines. Die Speisung des *Fahrdrahts* mit *15000 Volt* geschieht einerseits direkt von den *Kraftwerken Amsteg, Göschenen* und *Piotta* aus (deren Generatoren bis zu 16 000 Volt geben), anderseits von 3 *Unterstationen* in *Goldau, Giubiasco* und *Lugano,* nach denen die Energie von den Kraftwerken aus (nach Passierung von dort aufgestellten Auftransformatoren 15 000/45 000 Volt) mittels *Uebertragungsleitungen in 45000 Volt* geliefert und in Transformatoren auf Fahrdrahtspannung herabgesetzt wird. Der Ueberleitung von Energie von einem Gebiet zum andern dienen *Verbindungsleitungen* teils in Ober-, teils in Unterspannung. Zur eigentlichen Fahrdrahtleitung mit 15 000 Volt *über* den Geleisen führen von Kraftwerken und Unterstationen aus *Speiseleitungen mit* 15 000 *Volt parallel zur Bahnanlage.*

Übertragungsleitungen. Je eine solche führt vom Werk Amsteg nach Goldau und vom Werk Piotta nach Giubiasco und nach Lugano. Die beiden letztern sind zwischen Piotta und Giubiasco auf getrennten Gestängen geführt, können sich aber durch Schaltung in Giubiasco aushelfen. Die Querschnitte sind so berechnet, dass im normalen Zustand bei den Maximalleistungen der betr. Unterstationen ca. 7 bis 8% (in den Werken ausregulierbarer) Spannungsabfall eintritt, sodass notfalls an Stelle einer vorhandenen Doppelleitung auch je eine einfache noch genügt. Das Gestänge besteht aus einbetonierten Gittermasten mit Holzeinsatz und folgt passenden, nicht ans Bahngeleise gebundenen Tracen.

Verbindungsleitungen der Werke. Eine doppelte solche, auf zwei unabhängigen Tracen als Freileitung wie die vorbeschriebenen Leitungen ausgeführt, verbindet die Werke *Amsteg und Göschenen* unmittelbar in Generatorspannung von 16 000 Volt, die gewählt wurde wegen grösserer Sicherheit, besonders auch für die Verbindungsleitung *Göschenen-Piotta*, die nicht nur im Tunnel, sondern bis Piotta als *Kabel* geführt ist und aus 4 armierten, an 2 räumlich getrennten Stellen geschützt verlegten Kabeln besteht.

Unterwerke. Diese, in Goldau, Giubiasco und Lugano, sind Transformatorenstationen, gleichzeitig als Schaltstellen für Uebertragungs-, Verbindungs-, Speise- und Fahrdrahtleitungen ausgebildet, und zwar beziehungsweise mit Transformatoren für 7800, 13 000 und 7800 KVA Maximalleistung der Betriebstransformatoren, nebst je einem Reservetransformator von 2600 KVA Leistung.

Fahrdrahtanlage und Speiseleitungen. Ueber jedem Geleise ist ein Profildraht von 100 mm² Kupferquerschnitt in Vielfachaufhängung an Stahldrahtseil montiert; mit Ausnahme von Nebengeleisen und in Tunnels, wo engere Aufhängung eintritt, ist überall noch ein Hülfstragdraht vorgesehen.

Das Gestänge des Fahrdrahts, das auch die Speiseleitungen trägt, besteht aus einbetonierten, einfach gebauten Gittermasten. Auf eingeleisiger offener Strecke stehen diese Masten einseitig und tragen die Vielfachauf-

hängung an Auslegern, bei zweigeleisigen Strecken und in Bahnhöfen stehen sie beidseitig und bilden mittels Querträger Joche.

Auf dem Fahrdrahtgestänge sind durchwegs noch Speiseleitungen angebracht.

Beim normalen Zustand der Fahrdraht- und Speiseleitungen ist bei den Maximalleistungen bis auf 15 % totalen Spannungsabfall in Leitungen und Schienen gerechnet.

Die Speiseleitungen sind in den Stationen an die Fahrleitungen angeschlossen, die dortselbst ebenfalls unterteilt und durch Sicherheits-Zwischenstrecken getrennt sind. Bei Defekt einzelner Fahrdrahtstrecken können die Speiseleitungen als, die beidseitige Verbindung wahrende, Umgehungsleitungen dienen.

Für die Schaltungen in den Stationen sind konzentrierte Bedienungsstellen mit Fernbetätigung und Rücksignalen am Stationsperron projektiert.

Gemeinsames. Die angenommene Disposition der Leitungs- und Verteilanlagen betrachtet die Studienkommission nicht als die einzig zweckmässigen; es ist wohl möglich, dass das nähere Studium hier zu etwas veränderten Anordnungen führt. Die Bearbeitung mehrerer solcher hat aber gezeigt, dass die Kosten dadurch unwesentlich beeinflusst werden.

Das Rollmaterial für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Die elektrischen Triebfahrzeuge. Die Wahl der *Typen* der elektrischen Triebfahrzeuge muss einerseits mit Rücksicht auf die zu erzielenden Zugkräfte und Geschwindigkeiten, anderseits mit Rücksicht auf eine gute mittlere Ausnützung der Motoren geschehen; sowohl Typen als anzuschaffende *Anzahl* sind ferner so festzusetzen, dass eine möglichst rationelle Diensteinteilung der Triebfahrzeuge entsteht. Für die Schnellzüge wie für die Güterzüge ergibt sich schon wegen des durchgehenden Wagen-

materials von vornherein der Lokomotivbetrieb als notwendig, während für die Personenzüge der Vorteil der Motorwagen, d. i. die Verminderung des toten Gewichts bei gleichzeitiger Erhöhung der Anfahrzugkraft für die hier besonders notwendigen grossen Beschleunigungen, ausgenützt werden kann. Für die *Schnellzüge* ist die Anwendung eines einzigen, einheitlichen Lokomotivtyps durch die Verhältnisse sozusagen gegeben, mit Ausnahme der Strecken Zug-Goldau, Bellinzona-Luino und Bellinzona-Locarno, über die weiterhin Näheres folgt. Für die *Güterzüge* könnte es sich um die Ausführung eines leichteren Lokomotivtyps für die Strecken Luzern-Goldau und Bellinzona-Locarno handeln; da sich aber dadurch eine ungünstige Diensteinteilung und Ausnützung der Lokomotiven ergäbe, erweist sich auch hier die Verwendung einer *Einheitslokomotive* für alle Güterzüge als richtiger.

Für die *Motorwagen* ist dagegen die Einführung eines schwereren und eines leichteren Typs zweckmässig, wobei dem schwereren nicht nur die durchgehenden Personenzüge Luzern-Chiasso und die Personenzüge Biasca-Chiasso und Zug-Goldau zugewiesen werden, sondern mit Vorteil auch die Schnellzüge Zug-Goldau und Bellinzona-Luino. Der leichtere Typus würde die Personenzüge Luzern-Erstfeld, Bellinzona-Luino und Bellinzona-Locarno (auf letzterer Strecke mit Inbegriff der früheren sogenannten Schnellzüge) besorgen.

Die Arbeitsweise dieser Triebmittel (Wirkungsgrad, Leistungsfaktor etc.) ist in der Zusammenstellung auf Seite 80 gegeben.

Für die verschiedenen Triebfahrzeuge ergeben sich auf diese Weise die in nachstehender Uebersicht aufgeführten Daten bezüglich erforderlicher Leistungsfähigkeit, mechanischen Leistungen auf den grossen Steigungen und in der Ebene, und mit Rücksicht auf das Längenprofil der Bahn als „normal" zu betrachtende Betriebsverhältnisse, Zugskräfte und Geschwindigkeiten; ferner bestimmte die, genau nach dem angenommenen Fahrplan aufgestellte Diensteinteilung die Anzahl der für Betrieb und Reserve erforderlichen Triebfahrzeuge, wie folgt:

Hauptdaten der elektrischen Triebmittel für den zukünftigen Betrieb der Gotthardbahn.

Art und Zweck des Triebmittels:	Erforderliche Leistungen: Es ist im Maximum zu befördern: auf grösster Steigung von 26 ‰ ein angehängtes Zugsgewicht von t	auf grösster Steigung von 26 ‰ mit der Geschwindigkeit von km/h	auf horizontaler Bahn ein angehängtes Zugsgewicht von t	auf horizontaler Bahn mit der Geschwindigkeit von km/h	Vorgesehene Ausführung: für folgende normale Daten: Normale Steigung ‰	Normale Zugkraft kg	Normale Geschwindigkeit km/h	Leistung PS	mit dem Gewichte: Total t	für Adhäsion t	in der Anzahl der Triebmittel: für den Durchschnittsverkehr	Zuschlag für Maximalverkehr	Zuschlag f. Reserve und Reparatur	Total
Lokomotive für Schnellzüge	320	50	320	90	26	12 000	50	2200	100	72	7	3	5	15
Lokomotive für Güterzüge	320	35	560	45	26	11 500	35	1500	80	80	24	5	9	38
Motorwagen, schwere Type	200	50	200	90	26	6 000	50	1100	68 (elektrische Ausrüstung 30 t)	68	9	—	5	14
Motorwagen, leichte Type	auf 10 ‰ Steigung 150	60	150	75	10	2 000	50	400	46 (elektrische Ausrüstung 18 t)	46	5	—	2	7

Wie den in der Tabelle aufgeführten Gewichten zu entnehmen ist, sind bestimmte Triebfahrzeuge ins Auge gefasst, die für diese Verhältnisse durch Konstruktionsfirmen entsprechend neueren, bewährten Ausführungen entworfen und dem Projekte zugrunde gelegt worden; deren nähere Beschreibung kann hier wohl umgangen werden.

Für den *Rangierdienst* sind zunächst bisherige Dampflokomotiven vorgesehen, und zwar stünden nach aufgestellter Diensteinteilung deren 21 im Dienst, die auf die verschiedenen grösseren Bahnhöfe verteilt sind, wozu noch 7 Stück für Reserve und als in Reparatur befindlich angenommen wurden.

Die Vermehrung des Wagenparks für den zukünftigen Betrieb. Die, gegenüber dem jetzigen Dampfbetrieb stark gesteigerte Verkehrsmenge des angenommenen zukünftigen Betriebs würde eine erhebliche *Vermehrung des allgemeinen Wagenparks* erfordern, nämlich ausser den bereits gerechneten 84 Motorwagenachsen noch 256 neue Personenwagenachsen und 753 Güter- und Gepäckwagenachsen. Diese Vermehrung des Wagenparks fällt zwar nicht eigentlich der Elektrifikation zur Last; da aber der erhöhte Verkehr sie immerhin erfordert und mit ihr auch die allgemeinen wirtschaftlichen Vorteile einer Verkehrssteigerung erreicht werden, sind die Auslagen dafür doch in den Neuanlagekosten für die Elektrifizierung eingerechnet worden.

Verschiedene Anschaffungen an Rollmaterial. Da noch auf Jahre hinaus viele der auf der Gotthardbahn verkehrenden Wagen, vor allem der fremden Bahnen, für Dampfheizung eingerichtet sein werden, ist das Endziel, die Einführung direkter elektrischer Beheizung aller Wagen unter Stromentnahme dafür vom Fahrdraht, noch lange nicht erreichbar und muss mit einem Uebergangsstadium gerechnet werden. Vorläufig ist angenommen, dass die elektrischen Schnellzugslokomotiven mit Heizkesseln für Oelfeuerung ausgerüstet werden, die eine ganz geringe Gewichtsvermehrung dieser Lokomotiven bringen. Für die von Motorwagen gezogenen Personenzüge kann im allgemeinen das Rollmaterial leicht sofort für elektrische Heizung eingerichtet werden. Für eine beschränkte Anzahl anderer Züge wären dann noch besondere Heizwagen

anzuschaffen und in die Züge einzustellen, ebenfalls mit Dampfkesseln für Oelfeuerung.

Für alle elektrischen Triebfahrzeuge ist ausser der Reservestellung ganzer Fahrzeuge noch die Beschaffung einzelner *Reservebestandteile* ins Projekt aufgenommen.

Verschiedene Neuanlagen u. Änderungen für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Änderungen an Depotanlagen und Reparaturwerkstätten. Die Verhältnisse, die sich beim elektrischen Betrieb in Depots und Werkstätten einstellen werden, sind im einzelnen untersucht und dementsprechend Ergänzungen der Remisenanlagen in Erstfeld und Chiasso, Spezialeinrichtungen in allen Lokomotivdepots und besonders in der Werkstätte Bellinzona generell projektiert worden.

Umbau der Schwachstromanlagen. Im Abschnitt „Vergleich der Systeme" ist die Notwendigkeit und Art der Umbauten an den Schwachstromanlagen gezeigt worden; wir verweisen besonders auf die Seiten 49—53. Für die Gotthardbahn ist nach diesen Grundsätzen ein vollständiges Umbauprojekt in den Einzelheiten studiert worden, unter Mitarbeit der Organe der Bahn und der eidgenössischen Telegraphendirektion. Es folgen gegenwärtig dem Bahnkörper sowohl bahndienstliche als eidgenössische Schwachstromleitungen in z. T. sehr grosser Zahl, zumeist als Freileitungen, in mehreren Tunnels als Kabel. Die Freileitungen müssen bei Erstellung der Traktionsleitungen auf dem grössten Teil der Bahnlänge vom Bahnkörper weichen. Da die Zahl der Drähte ohnehin sehr gross ist und mehrere Gestänge erfordert, wurde vorgesehen, die bahndienstlichen Leitungen von denen der Telegraphendirektion derart zu trennen, dass jede Gruppe besonderes Trace erhält. Die ersteren würden in ein Trace möglichst nahe der Bahn verlegt, im allgemeinen auf etwa 20 m Abstand von den Fahrdrähten und Speiseleitungen der Traktion, wodurch die Induktionswirkungen schon bedeutend abgeschwächt werden, die Zuführung der Leitungen

zu den bahndienstlichen Apparaten und die Kontrolle durch die Bahnorgane noch nicht zu sehr erschwert ist. Die Leitungen der Telegraphendirektion dagegen würden in ein weiter entferntes Trace verlegt, das im allgemeinen der Strasse folgen und von dieser aus kontrolliert würde.

Die Verkehrssteigerung wird schon an sich eine Vermehrung der bahndienstlichen Verbindungsmittel gegenüber dem gegenwärtigen Zustande erfordern; es muss daher mit dem Umbau nicht bloss der gegenwärtigen, sondern *vermehrter* Schwachstrom-Leitungen gerechnet werden. Die neuen bahndienstlichen Schwachstromlinien würden auf neuem Holzgestänge, das je nach Drahtzahl einfach oder mehrfach sein wird, im allgemeinen mit 3 mm Bronze-Drähten in doppeldrähtiger Anlage (Schleifenleitungen) ausgeführt, und zwar die Leitung für den Bahntelegraph wie bisher, dann eine neue Telephonverbindung von Blockwerk zu Blockwerk und die Signalläutwerkleitung; die elektrische Streckenblockierung, die gegenwärtig nur teilweise besteht, würde auf die ganzen Hauptlinien ausgedehnt und mit metallischer Rückleitung versehen. Sämtliche Schleifenleitungen würden öfter gekreuzt und durch Entladespulen an Erde gelegt, die Telephonleitungen mit Pupin-Spulen versehen. Wo die lokalen Verhältnisse die Führung dieser bahndienstlichen Leitung als Freileitung nicht gestatten, sind passende Kabel, in Eisenkanalschutz in den Bahnkörper verlegt, vorgesehen.

Die Signalleitungen zur Rückmeldung der Signalbewegungen und zur elektrischen Signalbeleuchtung werden mit Starkstrom betrieben und deren Leitungen auf dem Fahrdrahtgestänge geführt.

An den lokalen Schwachstromleitungen der Stationen, bei den Stellwerken, Telephonapparaten etc. sind eine Reihe nötiger und wünschenswerter Aenderungen in Rechnung gebracht.

Die Verlegung sämtlicher Leitungen der Telegraphendirektion auf ein neues Gestänge ist von der Telegraphendirektion selbst projektiert worden. Ausser den dafür angenommenen Arbeiten wird eventuell noch die Auswechslung einiger Tunnelkabel gegen induktionsfreie, vielleicht auch die schleifenweise Führung der Freileitungen vorzusehen sein.

Die Kosten der Anlagen und Anschaffungen für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Die Berechnung der Kosten für das im vorstehenden geschilderte Projekt für den zukünftigen Verkehr erfolgte unter Heranziehung aller Mittel, die für die Anwendung möglichst zutreffender Einheitspreise Gewähr bieten konnten. Bei den Kraftwerken sind für die allgemeinen Bauarbeiten die Erfahrungen einer der ersten Baufirmen der Branche benützt und wurde auch bereits auf etwelche Steigerung der Arbeitslöhne Rücksicht genommen, wie sie die nächsten Jahre mutmasslich bringen werden. Für die Rohrleitungen und maschinellen Einrichtungen der Kraftwerke stützen sich die Kostenanschläge auf Detailofferten von ersten schweizerischen Konstruktionsfirmen; Preise ähnlicher Anlagen aus neuester Zeit sind für die gesamten elektrischen Verteilanlagen zugrunde gelegt worden. Das Kupfer der Freileitungen ist mit einem Lagerpreis von Fr. 2.— per kg eingesetzt. Für das elektrische Rollmaterial nahm man nach Beratung mit den Firmen, welche die betreffenden Typen entworfen, einen Preis von Fr. 1. 50 per kg für die mechanische Ausrüstung und einen solchen von Fr. 3.— für die elektrische Ausrüstung an. Das übrige Rollmaterial ist nach, bei der Gotthardbahn ermittelten Preisen gerechnet. Für den Umbau der Schwachstromanlagen wurde auf Verwendung von Altmaterial nur soweit wahrscheinlich gerechnet; für die neue Leitung der Telegraphendirektion ist zu den von letzterer berechneten Kosten von Fr. 650 000.— aus oben angegebenen Gründen ein besonderer Zuschlag bis auf ein Total von Fr. 1 000 000 gemacht. Hiezu ist jedoch zu bemerken: Da die bisherigen Leitungen der Telegraphendirektion den Bahnkörper der Bundesbahnen benützt haben, dürften nach den Artikeln 9 und 10 des eidgenössischen Gesetzes über elektrische Anlagen diese Umbaukosten nicht den Bundesbahnen zur Last fallen, sondern von der Telegraphendirektion selbst zu tragen sein; die Bundesbahnen vertreten denn auch diese Anschauung.

Der Betrag ist aber im Kostenanschlag sicherheitshalber dennoch aufgenommen.

Bei allen einzelnen Posten ist, entsprechend der Art der Arbeit und der grösseren oder geringeren Sicherheit der Projektierung, ein kleinerer oder grösserer Betrag für „Unvorhergesehenes" eingerechnet. So z. B. bei den Kraftwerkprojekten (selbstverständlich *ausser* den Kosten für Bauleitung und Bauzinsen) in den einzelnen Posten Beträge von im Mittel 6%. Insgesamt ist alsdann noch ein Posten für „General-Unvorhergesehenes" zugeschlagen; dessen Höhe ist derart angesetzt, dass dieser Betrag *mit* den schon in den Einzelposten für Unvorhergesehenes inbegriffenen Posten *zusammengenommen* rund 8% der Gesamtsumme ausmacht, damit die Kostenberechnung für das umfangreiche Werk, dessen Ausführung sich auf eine Reihe von Jahren erstrecken wird, finanziell genügend sicher sei.

Das Resultat der Kostenberechnungen ist das nachstehende:

Voranschlag der Anlagekosten für die Elektrifizierung der Gotthardbahn für den angenommenen zukünftigen Verkehr.

Kraftwerke.

Wasserbaulicher und allgemeiner Teil, nämlich:	Werk Ritom-Piotta Fr.	Werk Göschenen Fr.	Werk Amsteg Fr.
Wasserfassung, Verbauungen, Zuleitungsstollen, Wasserschloss, Druckleitung und Verteilleitung, Zufahrten, Maschinenhäuser samt Fundationen, Landerwerb, Anteil an der Konzessionsgebühr, Bauleitung, Bauzinsen und Diverses . . . . (Unvorhergesehenes bei den Einzelposten inbegriffen)	6 800 000	3 500 000	6 950 000
Übertrag	6 800 000	3 500 000	6 950 000

	Werk Ritom-Piotta Fr.	Werk Göschenen Fr.	Werk Amsteg Fr.
Übertrag	6 800 000	3 500 000	6 950 000
Maschineller und elektrischer Teil:			
Generatorturbinen und Erregerturbinen, Generatoren und Schaltanlagen, Transformatorenanlagen, Apparate f. abgehende Leitungen, Bauleitung, Bauzinsen und Diverses, Unvorhergesehenes	1 925 000	920 000	1 275 000
Insgesamt	8 725 000	4 420 000	8 225 000
Gesamtanlagekosten der Kraftwerke		21 370 000	

Verteilanlagen.

Übertragungsleitungen:	Fr.
Amsteg-Goldau, Amsteg-Göschenen, Göschenen-Piotta, Piotta-Giubiasco, Piotta-Lugano, Bauleitung, Bauzinsen und Diverses, Unvorhergesehenes	5 994 000
Unterstationen:	
Transformatorstationen 45 000/16 000 Volt in Goldau, Giubiasco und Lugan; besondere Anlagen für Abgabe von 16 000 Volt (soweit nicht schon dort berechnet) in den Kraftwerken Amsteg, Göschenen und Piotta; Bauleitung, Bauzinsen und Diverses, Unvorhergesehenes	1 636 000
Gesamtanlagekosten der Verteilanlagen	7 630 000

Fahrdraht- und Speiseleitungen.

Durchgehende Kontaktleitungen, Speiseleitungen, Geleise- und Schienenverbindungen; Bahnhof-Kontaktleitungen und Bahnhof-

	Fr.
Schaltstationen; Spezialkonstruktionen und Abänderungsarbeiten bei Brücken, Perrondächern, Einschnitten, Strassen-, Weg- und Bach-Uebergängen, Passerellen, Besonderes für den grossen Tunnel, Umbau von Hochspannungsüberführungen und Semaphoren und verschiedenes Derartiges; Bauleitung, Bauzinsen und Diverses; Unvorhergesehenes	9 770 000
Gesamtanlagekosten der Fahr- und Speiseleitungen	9 770 000

Rollmaterial.

Triebfahrzeuge:	Fr.	Fr.
15 Schnellzugslokomotiven	3 450 000	
38 Güterzugslokomotiven	6 840 000	
14 schwere Motorwagen	2 170 000	
7 leichte Motorwagen	672 000	13 132 000
Reservebestandteile		600 000
Heizeinrichtungen und Diverses:		
15 Heizkessel auf Schnellzugslokomotiven, 10 Heizwagen, Ausrüstung der vorhandenen Personenwagen (854 Achsen) für elektrische Heizung und ebenso der Gepäck- und Postwagen, sowie von Personenwagen anderer Kreise, die auf der G. B. zirkulieren; diverse Aenderungen an bestehendem Rollmaterial		1 007 000
Gesamtkosten am Rollmaterial für die Elektrifizierung		14 739 000

Vermehrung des gewöhnlichen Rollmaterials für die Verkehrssteigerung:	Fr.	Fr.
Neue Personenwagen, 256 Achsen	3 328 000	
Neue Güter- und Gepäckwagen, 753 Achsen	1 883 000	5 211 000
Gesamtkosten für Rollmaterial		19 950 000

Ausbau und Änderungen der Depotanlagen und Reparaturwerkstätte.

	Fr.
Aenderungen an den Depotanlagen, Neuanlagen in Erstfeld und Chiasso, Rüstzeug für den Unterhalt der Fahrdrahtleitungen, Aenderungen und Ergänzungen in der Reparaturwerkstätte	1 950 000
Gesamtkosten an Depots und Werkstätte	1 950 000

Umbau der Schwachstromanlagen.

	Fr.	Fr.
Bahndienstliche Leitungen, inklusive Unvorhergesehenes	2 500 000	
Anlagen der eidg. Telegraphendirektion, ebenso	1 000 000	
Gesamtkosten des Umbaus der Schwachstromleitungen		3 500 000

General-Unvorhergesehenes.

Erhöhung der in den Einzelposten aufgeführten oder enthaltenen Beträge für Unvorhergesehenes auf insgesamt 8 % der Gesamtkosten .	3 330 000

Zusammenzug der Anlagekosten.

Kraftwerke	21 370 000
Energieverteilungs-Anlagen	7 630 000
	29 000 000
Fahrdraht- und Speise-Leitungen	9 770 000
Rollmaterial	19 950 000
Depots und Reparaturwerkstätte	1 950 000
Schwachstromanlagen	3 500 000
General-Unvorhergesehenes	3 330 000
Gesamtkosten der Neuanlagen	67 500 000
Ebenso, ohne die Vermehrung des nicht elektrischen Rollmaterials für die allgemeine Verkehrsvermehrung, nebst Anteil an Unvorhergesehenem (Fr. 5 500 000)	62 000 000

Vergleich mit Anlagekosten anderer Projekte.

Es bietet ein gewisses Interesse, die Ergebnisse der Anlagekostenberechnung nach dem vorstehenden Projekt zu vergleichen mit demjenigen für die im Abschnitt „Systemvergleich" (auf Seite 59 ff.) erwähnten ersten Projekte der Studienkommission für die Elektrifizierung der Gotthardbahn. Diesem lag ein anderer Fahrplan zugrunde' die Energielieferung war auf 4 Kraftwerke verteilt (nämlich auch Lavorgo erstellt gedacht), dafür auf Ueberleitung von Energie von einer Seite des Gotthard zur andern verzichtet. Auch in Einzelheiten war die Ausführung etwas anders projektiert. Die Projekte waren, wie dort angegeben, für *zwei* Verkehrsmengen, „A" und „B", ausgerechnet, zwischen welchen der für das neue Projekt angenommene Verkehr ungefähr in der Mitte liegt. Die Anlagekosten der einzelnen Teile erweisen sich entsprechend der verschiedenen Ausführung natürlich als voneinander abweichend, die *gesamten* Anlagekosten mit Inbegriff der Rollmaterialvermehrung wegen allgemeiner Verkehrsvermehrung aber stellen sich wie folgt:

Für das alte Projekt mit Verkehr A	Für das neue Projekt wie oben	Für das alte Projekt mit Verkehr B
64,5 Millionen Fr.	67,5 Millionen Fr.	77,0 Millionen Fr.

Diese Zahlen bestätigen die Zuverlässigkeit der unabhängig entstandenen Projekte und zeigen gleichzeitig, dass zweckmässige Aenderungen in der Einzelanordnung keinen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtkosten haben, wenn dieselben Verkehrsverhältnisse beibehalten bleiben.

Die Betriebskosten für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Es darf ohne weiteres angenommen werden, dass die Allgemeinkosten und die jährlichen Ausgaben für die eigentliche Bahnanlage, also die im Rechnungsschema mit „Allgemeine Verwaltung", „Aufsicht und Unterhalt der Bahn", „Expeditions- und Zugdienst" und „Verschie-

dene Ausgaben" bezeichneten Posten unter übrigens gleichen Umständen für die elektrisch betriebene Bahn dieselben sind wie für den Dampfbetrieb. Die Untersuchung über die Betriebskosten der elektrifizierten Bahn braucht daher nicht mit der Berechnung aller Bestandteile der Betriebsausgaben belastet zu werden. Es genügt, die im Rechnungsschema der schweizerischen Eisenbahnen unter „*Fahrdienst*" rubrizierten *direkten* Ausgaben zu berechnen, und dazu das hinzuzufügen, was man die „*indirekten* Betriebsausgaben des Fahrdienstes" nennen könnte: Die Beträge, welche jährlich für Verzinsung, gesetzliche Rücklagen in den Erneuerungsfond und für Amortisation der in den Neuanlagen mit Inbegriff der Triebfahrzeuge investierten Kapitalien erforderlich sind.

Die (direkten) „Jahreskosten des Fahrdienstes" werden beim elektrischen Betriebe nach dem Rechnungsschema folgende Posten umfassen:

Personalausgaben (für den Obermaschineningenieur und dessen Bureau, das Maschinenpersonal und die Wagenvisiteure, das Personal für Ausrüstung und Reinigung des Fahrmaterials); sodann den Materialverbrauch, nämlich ausser dem besonders gerechneten Bedarf an elektrischer Energie das Brennmaterial für bisherige Dampflokomotiven, soweit solche nach der Annahme noch im Rangierdienst bleiben, das gesamte Schmiermaterial, die Ausgaben für Heizung und Beleuchtung der Züge, verschiedene Verbrauchsmaterialien für das Rollmaterial; dann die Ausgaben für Unterhalt und Reparatur des Rollmaterials und der Fahrdrahtleitungen, und verschiedene sonstige Ausgaben.

Die jährlichen Kosten der elektrischen Energie, die in den Posten „Materialverbrauch der Lokomotiven und Wagen" eingehen, müssen jedoch so berechnet werden, dass die indirekten Ausgaben, überhaupt alle und jegliche Kosten, welche die Kraftwerke, die Energieverteilungs- und Zufuhr-Anlagen jährlich verursachen, inbegriffen sind. Damit ergibt sich auch ein Vergleich dieser Selbstkosten der Energie gegenüber allfälligem Bezug solcher von fremden Unternehmungen, sowie mit den bisherigen Brennmaterialkosten.

Dieser Posten der Jahresausgaben möge als erster, und sodann die übrigen ermittelt werden.

Die Jahreskosten der elektrischen Energie an den Hauptspeisepunkten.

Diese Kosten für Lieferung der Energie in Fahrdrahtspannung sind die gesamten direkten und indirekten Jahresausgaben für die Kraftwerke, die Uebertragungsleitungen und Unterstationen.

Die direkten Ausgaben setzen sich zusammen aus denen für den Wasserzins, das Personal der allgemeinen Leitung und der ständigen Wartung der Werke und Unterstationen, dem Material und den Arbeitslöhnen für den Unterhalt und die laufenden Reparaturen aller dieser Teile, verschiedenen Ausgaben für Versicherungen und anderes. Das Personal ist nach Erfahrungen bei grossen Kraftwerken reichlich, entsprechend einem best geleiteten und geführten Betriebe in Anrechnung gebracht worden. Die Zentralleitung der Energieerzeugungsanlagen ist als besondere Abteilung mit eigener Rechnungsführung im Ressort des Kreis-Obermaschineningenieurs gebildet mit einem leitenden und den nötigen weiteren Ingenieuren und Technikern. Jedes der drei Kraftwerke steht unter einem Betriebsleiter mit einem Obermaschinisten, hat drei Bedienungsschichten des Maschinenwärterpersonals für permanenten Dienst, die erforderlichen Ersatzleute für Sonn- und Feiertage u. dgl. und Reservepersonal, dazu die Schleusen- und Wehrwärter. Für die Unterstationen (Transformatorenstationen) Goldau, Giubiasco und Lugano ist ebenfalls ständige Ueberwachung mit Schichtenwechsel gerechnet.

Die Auslagen für Unterhalt und laufende Reparaturen der Kraftwerks- und Verteil-Anlagen wurden als Prozentsätze der Anlagekosten der einzelnen Bautenkategorien bestimmt, unter sorgfältiger Verwendung von Erfahrungen bei derartigen Betrieben; diese Ansätze begreifen die Kosten für Material *und* Arbeitslöhne, Werkzeuge und alle Spesen in sich und sind überall reichlich und derart angenommen, dass auch sämtliche, jeweilen nur in grösseren Zeitabständen vorzunehmenden Ersetzungen abgenützter Teile (wie z. B. von Turbinenrädern, Leitungsstangen usw.) daraus bezahlt werden können.

Bei den indirekten Kosten, welche die Energieerzeugung und -Verteilung veranlasst, sind zunächst 4% für Verzin-

sung aufgenommen. Ferner wurden für sämtliche Bestandteile, mit Ausnahme der Grundstücke, Einlagen in einen Erneuerungsfond mit zu den Betriebsausgaben gerechnet, welche Rücklagen zufolge der Art der Berechnung der Reparaturkosten nur noch dafür zu dienen haben, *ausser-gewöhnliche* Erneuerungen oder Ersetzungen grösserer Bestandteile der Gesamtanlagen vorzunehmen, wie sie etwa infolge technischer Neuerungen wünschenswert oder durch grössere Betriebsunfälle nötig werden. Diese Einlagen sind je nach der Art der Objekte als unterschiedliche Prozentsätze der Teilanlage so gross bemessen, dass durch sie, falls keine ausserordentliche Ereignisse eintreten, auch noch eine gewisse Amortisation als eigentliche Schuldentilgung ermöglicht wird. Die in den Anlagekosten enthaltenen Beträge für Bauleitung, Bauzins, Unvorhergesehenes usw. sind für die Berechnung der Unterhaltskosten und Erneuerungsrücklagen angemessen auf die Baukategorien verteilt worden.

Die Berechnung nach diesen Grundsätzen führt zu den nachstehend zusammengestellten Ergebnissen:

Jahreskosten für die Erzeugung und Verteilung der Energie für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Gegenstand	Zentralleitung	Kraftwerke Amsteg, Göschenen und Ritom	Zentralleitung u. Kraftwerke zusammen	Energieverteilung bis zu den Hauptspeisepunkten	Jährliche Gesamtkosten bis zu den Hauptspeisepunkten
	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
Personalkosten[1]	28 000	173 900	201 900	36 000	237 900
Materialverbrauch, Unterhalt und laufende Reparaturen[2]	—	213 500	213 500	203 500	417 000
Wasserzinse, Versicherungen und Diverses . . .	274 100	—	274 100	—	274 100
Kapitalverzinsung . . .	—	854 800	854 800	305 200	1 160 000
Einlagen in den Erneuerungsfond	—	165 500	165 500	165 500	331 000
Zusammen	302 100	1 407 700	1 709 800	710 200	2 420 000

[1]) Exklusive Personalkosten der laufenden Reparaturen.
[2]) Inklusive zugehörige Personalkosten (Löhne, Spesen etc.)

Die Schlussumme von Fr. 2 420 000 tritt als Ganzes an Stelle des Kohlenverbrauchs in den Schemaposten „Materialverbrauch der Lokomotiven und Wagen" ein. Dieser Teil der Jahresausgaben ändert sich *ganz unwesentlich,* nämlich im allgemeinen nur um den relativ sehr geringen Mehrverbrauch an Schmiermaterial der Maschinenaggregate der Kraftwerke, wenn aus denselben Kraftwerken mehr Energie geliefert wird als angenommen war. Die *Kosten der Kilowattstunde Energie ab Kraftwerken* ändern sich daher bedeutend mit der Vermehrung oder Verminderung der Zahl der abgegebenen Kilowattstunden, also mit der Dichte des Verkehrs, während die Gesamtkosten der Energie durch letztere fast unbeeinflusst bleiben. Dies darf nicht ausser Acht gelassen werden, wenn nun dennoch, mit Rücksicht auf die Preise von Energie aus anderen Werken, der Preis *pro Kilowattstunde* bestimmt wird, der also nur für die angenommene Benützung der Werke, den angenommenen Verkehr, Geltung hat. Wie auf Seite 82 ermittelt wurde, sind für die Traktion bei diesem Verkehr *160 Millionen PSh ab Turbinen* zu leisten. Bei 81% mittlerem Wirkungsgrad der Generatoren, teilweise mit Auftransformatoren (Seite 82), ergibt dies, weil 1 PSh = 0,736 KWh, rund *95 Millionen Kilowattstunden ab Kraftwerken.* Hiezu kommt nun der früher (Seite 72) erwähnte Bedarf für Heizung und Beleuchtung. Dieser kann ohne Erhöhung der maximalen Leistungsfähigkeit der Werke abgegeben werden, weil er nicht zu Zeiten der maximalen Leistung gebraucht wird. Da dieses Energieerfordernis etwa 5 bis 6 Millionen Kilowattstunden beträgt, so kann man eine *elektrische Jahresarbeit ab Kraftwerksausführungen* (teils in 45 000, teils in 15—16 000 Volt) von *rund 100 Millionen KWh* annehmen, und da diese dort (d. h. *ohne* die Jahreskosten der *Leitungen und Unterwerke*) rund 1,7 Mill. Fr. kosten, so betragen *die Kosten der Kilowattstunde an den Ausführungen aus den Kraftwerken bei dem angenommenen Verkehr 1,7 Rp. Diese Zahl kann sich aber, wie gesagt, mit dem bewältigten Verkehr ganz bedeutend — bei grösserem Verkehr im Sinne der Verbilligung — ändern.*

Die (direkten) Jahreskosten des „Fahrdienstes".

Die einzelnen Teile dieser Kosten für den künftigen elektrischen Betrieb sind wie nachstehend angegeben ermittelt und ihre Beträge finden sich in der nachfolgenden Betriebsausgabenrechnung auf Seite 108 ff. zusammengestellt.

Die Personalausgaben sind unter Mitwirkung der regelmässig damit beschäftigten Beamten der Kreisdirektion V festgestellt worden. Für die Lokomotiven der Güterzüge wie der Schnellzüge ist zweimännige Bedienung angenommen, für die Motorwagen einmännige. Die aus der allgemeinen Verkehrssteigerung sich ergebende Vermehrung sämtlichen Personals ist selbstverständlich sorgfältig eingerechnet, ebenso Ruhetage, Urlaub, Krankheit, Unfall und Reservestellung berücksichtigt. Das „Personal für Reinigung und Ausrüstung der Lokomotiven" (nunmehr: der Triebfahrzeuge) kann gegenüber dem Dampfbetrieb verhältnismässig vermindert werden; in der angenommenen Zahl wird es für den neuen, reinlicheren Betrieb vollauf genügen. Beim Personal für Wagenreinigung wurde trotz Wegfalls der Rauchbeschmutzung keine verhältnismässige Verminderung vorausgesetzt. Die Gehaltsansätze entsprechen dem neuen Besoldungsgesetze; eine angemessene Anzahl Beamte sind mit dem Maximum der Besoldungen eingesetzt, auch alle Nebenbezüge berücksichtigt, und zwar nach den bisherigen Ansätzen der G.-B., die höher sind als die der S. B. B.

Materialverbrauch für Lokomotiven und Wagen. Ausser dem oben ermittelten Betrag für die elektrische Energie mit Inbegriff des Zuschlages für Beleuchtung und die von den Kraftwerken elektrisch betriebene Heizung ist mit folgenden Posten zu rechnen:

Kohlenkonsum der Dampf-Rangierlokomotiven: Dieser war nach den bisherigen Erfahrungen aus der Lokomotivkilometerzahl bestimmbar.

Brennmaterial der Heizkessel für die Dampfheizung der Züge usw.: Aus der, nach bisherigem Betriebe ungefähr bekannten Zahl der Zugsheizstunden unter Berücksichtigung

des Preises und Heizwertes des angenommenen Brennmaterials (Petroleum-Rückstände) ermittelt.

Schmiermaterial: Für die Wagen und die Dampflokomotiven im Rangierdienst sind die Kosten nach den letzten Erfahrungen beim Dampfbetrieb über Verbrauch und Materialkosten pro Achsenkilometer gerechnet. Für die elektrischen Triebfahrzeuge wurde der Verbrauch pro Kilometer durch Vergleich mit den Dampflokomotiven bezüglich Zahl und Art der Schmierstellen geschätzt; die darnach ermittelten Ansätze dürften nach anderwärtigen Erfahrungen reichlich genügen. Das Reinigungsmaterial ist nach bisherigen Erfahrungen pro Fahrzeugkilometer gerechnet.

Beleuchtung: Material- und Unterhaltskosten für die verbleibenden Beleuchtungseinrichtungen mit Dynamomaschinen und Batterien in den bisherigen Wagen, und die analogen im vermehrten Rollmaterial, sind nach bisherigen Ergebnissen berechnet; diese sind auch für die Bemessung des Materialverbrauchs in neu einzuführenden Beleuchtungseinrichtungen direkter elektrischer Art verwertet. Die elektrische Energie für Beleuchtung ist schon oben eingerechnet worden.

Sowohl das Schmier- und Reinigungsmaterial als der Posten „Beleuchtung" machen relativ kleine Beträge aus, sodass selbst grössere Fehler in diesen Ansätzen fast ohne Einfluss auf das Ganze bleiben.

Unterhalt und Erneuerung des Rollmaterials teilen sich in folgende Gruppen:

Lokomotiven: Hierfür sind Unterhalt und Erneuerung nach Erfahrungen bei andern, grösseren elektrischen Bahnen, besonders bei amerikanischen (Bericht *Wyssling*) bestimmt worden. Die angewandten Ansätze pro Lokomotivkilometer werden bei den neueren elektrischen Triebmitteln, die nur wenige teuere, der Abnützung bezw. Reparatur unterworfene Teile besitzen, voraussichtlich in der Praxis nicht erreicht werden. Sie betragen 20, bezw. 13 Rp. per durchfahrenen Kilometer bei den elektrischen Schnellzugs-, bezw. Güter-Lokomotiven, während bei den nach allen Erfahrungen relativ mehr Kosten ergebenden Dampflokomotiven nach bisherigen Resultaten für die noch im Rangierdienst stehenden 12 Rp. angenommen werden mussten. Für die Motorwagen sind 10 Rp. pro km angesetzt.

Wagen: Die Berechnung der Unterhalts- und Erneuerungskosten hierfür ist nach der Zahl der Wagenkilometer eingesetzt, jedoch unter Erhöhung der bisherigen Einheitskosten mit Rücksicht auf zu erwartende Lohnsteigerung.

Der Unterhalt der Fahrdraht- und Speiseleitungen ist ein hier eingefügter, im Rechnungsschema der Dampfbahnen nicht vorkommender Posten. Hierfür sind die Erfahrungen an andern Starkstromleitungen konsultiert worden; sowohl Bestimmungen nach Kilometern Leitungslänge als nach Prozentsätzen der Erstellungskosten ergaben übereinstimmende Resultate; der Posten beträgt übrigens nur etwa 10% desjenigen für die gesamten Fahrzeuge.

Sonstige Ausgaben sind nach bisherigen Erfahrungen eingesetzt.

Rückerstattungen von Fahrdienstkosten betreffen solche seitens anderer Transportanstalten, für Anteile an den bezüglichen Gemeinschaftsdiensten in den Bahnhöfen, für die Bahnstrecke auf italienischem Gebiete bis Luino und seitens der Postverwaltung für ihre Wagen. Entsprechend dem Rechnungsschema sind diese Einnahmen bei den direkten Fahrdienstkosten in Abzug gebracht; sie sind ermittelt nach dem Verkehr und den bisherigen Ansätzen.

Die indirekten Jahreskosten des Fahrdienstes.

Die indirekten jährlichen Betriebsausgaben finden sich in der nachfolgenden Betriebsrechnung aufgeführt; es sei dazu folgendes bemerkt:

Nach den unter „Betriebskosten, allgemeines" gegebenen Grundsätzen kommen für die Berechnung hier folgende *Kapitalien* unzweifelhaft in Betracht:

a) Anlagekapital sämtlicher für den elektrischen Betrieb erforderlichen Neu-Anlagen, *mit Ausnahme* desjenigen für die Kraftwerke und die Energieverteilung, weil die direkten wie indirekten Betriebsausgaben hierfür bereits im Energiepreis unter den direkten Fahrdienstausgaben enthalten sind. Es handelt sich also um das Kapital für Fahrdraht- und Speiseleitungen, Rollmaterial, Depots, Reparaturwerkstätten und Schwachstromanlagen, alles mit Inbegriff der Anteile am General-Unvorhergesehenen.

b) Das Kapital für die Beschaffung der für die allgemeine Verkehrssteigerung erforderlichen Rollmaterialvermehrung.

c) Das Anlagekapital der alten, beim elektrischen Betrieb weiter im Dienst bleibenden Rollmaterialbestände. Nach Abzug der nicht mehr verwendeten Dampflokomotiven, von denen weiter unten zu sprechen, betrug dieses Anlagekapital zur Zeit der Berechnung (welchem Stand auch die Rollmaterial*vermehrung* zugrunde gelegt wurde) Fr. 15 911 000.

Diese Kapitalien insgesamt ergeben sich nach unserer Kostenaufstellung zu Fr. 54 411 000.

Dafür ist zunächst der *Zins* zu rechnen, der zu 4% angenommen wurde.

Die *Amortisation* des Anlagekapitals ist nach den Regeln der S. B. B. für diejenigen Bestandteile, für welche Erneuerung in zeitlich begrenzter Frist vorgesehen, bezw. entsprechende Einlagen in den Erneuerungsfond zu machen sind, nur auf 30% des Anlagewerts zu erstrecken. Es betrifft dies das ganze Rollmaterial nebst Heiz- und Beleuchtungseinrichtungen; in gleicher Weise sind die Fahrdraht- und Speiseleitungen behandelt worden. Die übrigen Kapitalien sind als in 60 Jahren vollständig zu amortisieren angenommen.

Die *Einlagen in den Erneuerungsfonds* sind entsprechend der vorschriftsgemäss als wahrscheinlich anzunehmenden Gebrauchsdauer für das hier in Betracht fallende gesamte Rollmaterial berechnet, und in gleicher Weise für die Fahrdraht- und Speiseleitungen.

Betreffend die *Abschreibung der nicht mehr verwendeten Dampflokomotiven* sind verschiedene Gesichtspunkte möglich. Der Inventarwert der im zukünftigen elektrischen Betrieb *nicht* für den Rangierdienst verwendeten, weiter vorhandenen 143 Dampflokomotiven beträgt Fr. 11 872 000. Davon kann derjenige Betrag abgerechnet werden, der zur Zeit des Beginns des elektrischen Betriebs entsprechend dem Sollbestand des zugehörigen Anteils des Erneuerungsfonds und dem Altmaterialwert schon dafür zurückgelegt ist. Um Verzinsung und Abschreibung des *Restbetrags* zu Lasten des elektrischen Betriebs kann es sich äussersten Falles handeln, sofern für die Lokomotiven

keine andere nutzbringende Verwendung sich findet. In dieser Hinsicht lassen sich aber folgende Gruppen dieser Lokomotiven bilden: Eine erste Gruppe im Inventarwert von rund 6½ Millionen Franken besteht aus älteren Lokomotiven, die jedenfalls gleich nach Einführung des elektrischen Betriebs ausser Gebrauch kommen und abzuschreiben wären; die zweite Gruppe umfasst Schnellzugslokomotiven, die an Stelle von Neuanschaffungen in anderen Bundesbahnkreisen verwendet werden oder auch veräussert werden können, mit einem Inventarwert von rund 3⅓ Millionen Franken. Weitere schwere Schnellzugslokomotiven werden voraussichtlich während der ersten Zeit des elektrischen Betriebs noch als Dampfreserven im Gotthardbetrieb belassen werden; diese stehen mit ungefähr 2 Millionen Franken im Inventar. Je nach Auffassung und erzielter Lösung wird daher der elektrische Betrieb mit der Verzinsung und Amortisation des ganzen oder eines Teils obiger Fr. 11 872 000 oder auch gar nicht zu belasten sein. In der Betriebskostenaufstellung sind daher als Varianten die *beiden extremen Fälle ohne* oder *mit vollständiger* Berücksichtigung dieser Summe aufgeführt.

Voranschlag der Betriebskosten (Jahreskosten des „Fahrdienstes") für den zukünftigen elektrischen Betrieb der Gotthardbahn.

Direkte Jahreskosten.

Personalausgaben.

	Fr.	Fr.	Fr.
Obermaschineningenieur und Hülfspersonal (inklusive elektrotechnisches Zentralpersonal, mit Ausnahme der bei den Kosten der Energieerzeugung angerechneten Zentralleitung der Kraftwerke)		128 500	
Maschinenpersonal und Wagenvisiteure			
Vorstände und Personal der Depots,	152 800		
Fahrpersonal (mit 2männiger Bedienung aller Lokomotiven) . . .	1 431 100		
Wagenvisiteure	84 200	1 668 100	
Personal für Reinigung u. Ausrüstung des Fahrmaterials:			
Lokomotivreiniger	192 000		
Wagenreiniger	115 000	307 000	2 103 600

	Fr.	Fr.	Fr.
Übertrag			2 103 600
Materialkosten.			
Elektrische Energie (Einzelheiten siehe Tabelle Seite 102)		2 420 000	
Brennmaterialien:			
Saarkohlen für die Dampflokomotiven des Rangierdienstes	256 800		
Brennöl (Masut) für die Heizkessel der Dampfheizung	120 000	376 800	
Schmiermaterial:			
für die elektr. Lokomotiven und Motorwagen	49 620		
für die Dampf-Rangierlokomotiven	5 660		
für die Wagen	10 580	65 860	
Reinigungs-, Desinfektions- und verschiedenes Material:			
für die Lokomotiven	35 550		
für die Wagen (inkl. Motorwagen) .	7 840	43 390	
Beleuchtungsmaterial:			
für die elektr. Lokomotiven . . .	6 000		
für die Dampf-Rangiermaschinen .	2 800		
für die Wagen (inkl. Motorwagen) .	78 120	86 920	2 992 970

Unterhalt und Erneuerung des Rollmaterials und der Fahrdraht- und Speiseleitungen.

Triebfahrzeuge:	Fr.	Fr.	
Elektr. Schnellzugslokomotiven . .	354 000		
Elektr. Güterzugslokomotiven . .	386 100		
Elektr. Motorwagen	204 000		
Dampf-Rangierlokomotiven . . .	92 400	1 036 500	
Wagen:			
Personenwagen	430 500		
Gepäck- und Güterwagen	672 000	1 102 500	
Fahrdraht- und Speiseleitungen . .		245 000	2 384 000
Sonstige Ausgaben			75 150
Total der direkten Brutto-Ausgaben des Fahrdienstes . . .			7 555 720

	Übertrag	7 555 720

Rückerstattungen von Fahrdienstkosten.

	Fr.	Fr.
Anteile an den Kosten des Gemeinschaftsdienstes der Bahnhöfe:		
Goldau (S. O. B. und S. B. B. III) .	48 000	
Chiasso abzüglich Luino (F. S.) . .	80 000	128 000
Rückerstattung der F. S. für den Fahrdienst Schweizergrenze bis Luino		220 800
Rückerstattung der eidg. Postverwaltung für Besorgung ihrer Wagen		30 000
Total der Rückerstattungen von Fahrdienstkosten .		378 800
Total der direkten Netto-Ausgaben des Fahrdienstes		7 176 920

Indirekte Jahreskosten.

Verzinsung des Anlagekapitals.

	Kapitalien: Fr.		Jahresbeträge: Fr.	Fr.
Rollmaterial (gesamtes) .	35 261 000			
Reservebestandteile dazu .	600 000			
Depot- und Werkstätte-Neueinrichtungen . .	8 781 000			
Schwachstromanlagen .				
Ergänzung des Unvorhergesehenen				
Fahrdraht- und Speiseleitungen	9 769 000			
	54 411 000	zu 4 %		2 176 440

Amortisation des Anlagekapitals.

	Fr.	Fr.	
Rollmaterial wie oben . .	35 261 000		
Fahrdraht- und Speiseleitungen	9 769 000		
	45 030 000		
Davon 30 % =		13 509 000	
Reservebestandteile		600 000	
Depot- und Werkstätte-Einrichtungen, Schwachstromanlagen und Unvorhergesehenes wie oben		8 781 000	
0,42 % von Fr.		22 990 000	96 140

Einlagen in den Erneuerungsfond.

Rollmaterial, nach besonderer Aufstellung zu verschiedenen Ansätzen	483 630	
Fahrdraht- und Speiseleitungen	132 860	616 490
Total der indirekten Jahresausgaben des Fahrdienstes . .		2 889 070

ohne Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven.

Vollständige Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven.

Inventarwert dieser Dampflokomotiven (Fr. 11 872 000) abzüglich Sollbestand der bezüglichen Erneuerungsrücklagen (diese gerechnet auf Ende 1914) und abzüglich des Altmaterialwerts . . . . . Fr. 5 358 048	
Hievon 4 % Zins und 0,42 % Abschreibung per Jahr . .	236 850
Total der indirekten Jahresausgaben des Fahrdienstes mit vollständiger Abschreibung aller entbehrlichen Dampflokomotiven	3 125 920

Zusammenzug der Jahreskosten des Fahrdienstes.

	Fr.
Direkte Netto-Jahreskosten	7 176 920
Indirekte Jahreskosten (ohne Lokomotivabschreibung) . .	2 889 007
Gesamtjahreskosten des Fahrdienstes (ohne Dampflokomotivenabschreibung)	**10 065 990**
Vollständige Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven	236 850
Gesamtkosten des Fahrdienstes (mit Dampflokomotivenabschreibung)	**10 302 840**

Die Ergebnisse der Betriebsrechnung.

Die berechneten Jahreskosten können ihre Würdigung nicht im unmittelbaren Vergleich der Gesamtsummen mit solchen des bisherigen Betriebs finden, da sie sich auf andere Verkehrsleistungen beziehen. Einen gewissen Vergleich erhält man dagegen durch die *spezifischen Jahreskosten des Fahrdiensts*, berechnet auf die Einheiten der Transportarbeit. Da ergibt sich die folgende Zusammenstellung:

Übersicht der Verkehrsarbeiten, der Jahreskosten des Fahrdienstes und der spezifischen Kosten des Fahrdienstes.

Gegenstand	Für den Dampfbetrieb 1907	Dampfbetrieb 1908	Zukünft. elektr. Betrieb
Jahres-Verkehrs-Arbeiten:			
Für das angehängte Zugsgewicht:			
Millionen Brutto-tkm . .	1 103	1 072	1 437
Für das gesamte Zugsgewicht:			
Millionen Brutto-tkm . .	1 623	1 593	1 824
Millionen Zugskilometer .	4,583	4,550	5,751
Gesamte direkte (Netto-) Fahrdienstkosten:			
Franken	8 267 166	8 630 188	7 176 920
Spezifische direkte (Netto-) Fahrdienstkosten:			
Rpn. pro tkm angehängtes Gewicht	0,75	0,81	0,50
Rpn. pro tkm Gesamtzugsgewicht	0,51	0,54	0,39
Fr. pro Zugskilometer . . .	1,80	1,90	1,25
Totale (direkte Netto- und indirekte) Fahrdienstkosten:			
Franken	9 647 550	10 067 490	10 065 990 (10 302 840)
Spezifische totale (direkte und indirekte) Fahrdienstkosten:			
Rpn. pro tkm angehängtes Gewicht	0,88	0,94	0,70 (0,72)
Rpn. pro tkm Gesamtzugsgewicht	0,59	0,63	0,55 (0,57)
Fr. pro Zugskilometer . . .	2,10	2,21	1,75 (1,79)

(Die eingeklammerten Zahlen beim elektrischen Betrieb treten ein, wenn mit der vollen Abschreibung aller freiwerdenden Dampflokomotiven gerechnet wird, die nicht eingeklammerten ohne diese Abschreibung).

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass der zukünftige elektrische Betrieb ganz wesentlich geringere Kosten des Fahrdienstes pro Transporteinheit ergibt, als der bisherige Dampfbetrieb erforderte. Dies ist der Fall sowohl für die Kosten pro Zugskilometer als pro Bruttotonnenkilometer des Gesamtzugsgewichts und des angehängten Gewichts. Die ersten zwei Zahlen haben weniger Vergleichskraft, einmal weil die Zugskompositionen etwas andere sind beim elektrischen als beim Dampfbetrieb, besonders aber weil die beiden Betriebsarten wesentlich verschiedene Differenzen zwischen dem Gesamtzugsgewicht und dem angehängten Zugsgewicht ergeben, da die elektrischen Triebmittel leichter sind. Massgebend ist namentlich die erste Zahl, die Kosten pro km *angehängten* Zugsgewichts, da letzteres die wirkliche Nutzverkehrsarbeit darstellt.

Die ausgewiesene Ermässigung der Totalkosten des Fahrdienstes pro Bruttotonnenkilometer vom Dampfbetrieb 1908 zum zukünftigen elektrischen von **0,94** auf **0,72** bezw. **0,70** Rp., d. h. um 25 bis 26%, darf hierbei allerdings nicht völlig der Elektrifikation zugeschrieben werden, da *ein Teil* dieser Verbilligung durch die *Steigerung des Verkehrs an sich veranlasst* ist; auch bei entsprechender Steigerung des *Dampf*betriebs wäre etwelche Verbilligung pro Transporteinheit zu erwarten, weil gewisse konstant bleibende Kosten sich auf grössere Verkehrsmengen verteilen. Diese Ermässigung könnte immerhin nicht so bedeutend sein, da es sich bei diesen Zahlen nur um die *Fahrdienst*kosten handelt, bei denen die von der Verkehrsmenge unabhängigen Kosten keine so bedeutende Rolle spielen, wie etwa bei den Jahreskosten der eigentlichen Bahnanlagen.

Das, auch bei der Studienkommission von Anfang an vorhanden gewesene Bedürfnis nach einem unmittelbaren *Vergleich mit den Dampfbetriebskosten* hat nun, wie schon auf Seite 65 mitgeteilt, zur eingehenden Bearbeitung eines besonderen *Vergleichsprojektes* geführt, das im Nachstehenden noch behandelt werden möge.

Das Vergleichsprojekt für einen dem Dampfbetrieb 1904 gleichen elektrischen Betrieb.

Allgemeines.

Für diesen Vergleich wurde das Jahr 1904 gewählt, weil s. Z. für kein späteres genügend genaue statistische Angaben erhältlich waren; seine Verkehrsmenge liegt wesentlich unter den heute in Betracht zu ziehenden.

Die Berechnungen sind nach denselben Grundsätzen vollzogen, wie für das Projekt des zukünftigen Betriebs geschildert; es wurden lediglich diejenigen Daten geändert, die beim Dampfbetrieb 1904 andere waren. Der elektrische Betrieb ist in allen Punkten derart angenommen, dass er, soweit sich technisch überhaupt Uebereinstimmung erzielen lässt, genau dasselbe leistet wie jener stattgehabte Dampfbetrieb. Im nachstehenden seien daher von den Grundlagen nur die, gegenüber dem Zukunftsprojekt *veränderten* aufgeführt.

Die verkehrstechnischen Grundlagen.

Für die *Geschwindigkeiten* wird auf Seite 65 und 66 verwiesen; die Tabelle zu Seite 70 gibt über die *Zugszahl und die Zugsgewichte* Auskunft.

Die *Verkehrsarbeiten* in Bruttotonnenkilometern für das angehängte Zugsgewicht sind ebenfalls auf Seite 115 aufgeführt. Aus den früheren Angaben sei unter Beifügung des Vergleichs mit dem *wirklich stattgehabten* Dampfbetrieb von 1904 folgendes rekapituliert:

Verkehrsarbeit beim Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Für die Zugsgattung:	im Jahre		im Durchschnittsverkehr per Tag		im Maximalverkehr per Tag	
	beim wirklichen Dampfbetrieb	beim angenommenen elektrischen Betrieb	beim wirklichen Dampfbetrieb	beim angenommenen elektrischen Betrieb	beim wirklichen Dampfbetrieb	beim angenommenen elektrischen Betrieb
	in Millionen Brutto-Tonnenkilometern des angehängten Zugsgewichts:					
Schnellzüge . .	213	213	0,58	0,58	0,64	0,64
Personenzüge .	122	123	0,33	0,34	0,32	0,32
Güterzüge [1]) . .	441	441	1,42	1,42	1,57	2,03
Insgesamt	776	777	2,33 [2])	2,34 [2])	2,53 [2])	2,99 [2])
	des gesamten Zugsgewichts:					
Schnellzüge . .	.	301	.	0,83	.	0,92
Personenzüge .	.	151	.	0,41	.	0,40
Güterzüge [1]) . .	.	545	.	1,76	.	2,52
Insgesamt	1105	997	.	3,00 [2])	.	3,84 [2])

[1]) 310 Tage im Jahre.
[2]) Für die Tage, an welchen Güterzüge laufen (Werktage), also nicht das eigentliche Jahresmittel.

Wie man sieht, ist trotz des notwendigerweise etwas anders gestalteten Fahrplans die Verkehrsarbeit an *angehängtem* Zugsgewicht, welche für die zu befördernde Transportmenge massgebend ist, bis auf den kleinen Unterschied zwischen 776 und 777 Bruttotonnenkilometern gleich gehalten beim elektrischen wie beim wirklich stattgehabten Dampfbetrieb. Dagegen erforderte der letztere natürlich wegen der schwereren Lokomotiven für dieselben gezogenen Gewichte grössere Gesamtzugsgewichte, nämlich 1105 statt 997 Bruttotonnenkilometer. Die Steigerung vom Verkehr des mittleren Tages zum maximalen beträgt etwa die Hälfte des erstern.

Der Kraftbedarf.

Ueber die erforderliche *totale und nach der Verkehrsarbeit berechnete spezifische mechanische Arbeit und die mittlere Leistung am Radumfang* möge die nebenstehende Aufstellung orientieren, die mit der Tabelle zu Seite 72 für den Zukunftsverkehr in Vergleich gesetzt werden kann.

Diese Uebersicht liefert interessante Vergleiche zwischen dem zukünftigen elektrischen Verkehr und demjenigen gleich diesem kleinen Dampfverkehr.

Die Jahresverkehrsarbeit in Bruttotonnenkilometer ist im Zukunftsverkehr (*Gesamt*zugsgewicht) 80% grösser als diejenigen von 1904, die maximale Tagesverkehrsarbeit dagegen rund 110%. Die erforderliche mechanische Arbeit am Radumfange aber ist 1904 um *mehr* vermindert gegenüber dem zukünftigen elektrischen Betriebe, als der Verkehrsarbeit entspricht: Die erstere ist im Zukunftsbetrieb nicht nur 80, sondern 100% höher und für einen Tag des Maximalverkehrs 137 anstatt nur 110% grösser als 1904. In der Tat zeigt denn auch die *spezifische* mechanische Arbeit am Radumfang, pro Tonnenkilometer, eine Zunahme vom elektrischen Betriebe 1904 auf den der Zukunft von 29 auf 32 und für den Maximalverkehr von 28 auf 32 Wattstunden. Diese *Steigerung des spezifischen Arbeitsbedarfs* am Radumfange rührt allein von den *bedeutend höheren Geschwindigkeiten der Züge* her, die man beim zukünftigen Betrieb gegenüber dem Dampfbetrieb annahm, was eine wesentliche Erhöhung der Rollarbeit durch den vermehrten Luftwiderstand ergibt. *Dieser Steigerung der Geschwindigkeiten würde bei Dampfbetrieb ein wesentlich erhöhter spezifischer Kohlenverbrauch entsprechen, der beim Vergleich des Zukunftsprojekts nicht in Anrechnung gebracht worden ist.*

Für die Ermittlung der *maximalen Leistungen* ergaben sich (im Vergleich zur Tabelle auf Seite 74) für den Zukunftsverkehr) folgende:

Tab. zu pag. 116.

ng am Radumfang
4.

Für die Zugsart	Total	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total
	Tag, im Maximalverkehr				
Für das Gebie	n von des	Totale mechanische Arbeit am Radumfange in Tausenden von Pferdekraftstunden			
Reussgebiet . .	1401	15,8	6,0	30,7	52,5
Tessingebiet . .	2444	25,7	9,8	58,5	94,0
Ganze Gotthardbahn	3845	41,5	15,8	89,2	146,5
	rbeit lometer	Mittlere Leistung am Radumfang für einen Tag des Maximalverkehrs in Pferdestärken			
Reussgebiet . .	28	660	250	1280	2190
Tessingebiet . .	28	1070	410	2430	3910
Ganze Gotthardbahn	28	1730	660	3710	6100

Tab. zu pag. 116.

Verkehrsarbeit und erforderliche totale und spezifische mechanische Arbeit und mittlere Leistung am Radumfang beim elektrischen Betrieb der Gotthardbahn gleich dem Dampfbetrieb von 1904.

Für die Zugsart:	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total	Schnell-züge	Personen-züge	Güter-züge	Total
	Für einen Tag, im Durchschnittsverkehr								Für einen Tag, im Maximalverkehr							
Für das Gebiet:	Verkehrsarbeit in Tausenden von Brutto-Tonnen-Kilometern des Gesamtzugsgewichts				Totale mechanische Arbeit am Radumfange in Tausenden von Pferdekraftstunden				Verkehrsarbeit in Tausenden von Brutto-Tonnen-Kilometern des Gesamtzugsgewichts				Totale mechanische Arbeit am Radumfange in Tausenden von Pferdekraftstunden			
Reussgebiet	330	163	616	1109	13,9	6,5	22,8	43,2	337	154	880	1401	15,8	6,0	30,7	52,5
Tessingebiet	496	250	1141	1887	23,0	10,6	40,3	73,9	554	242	1648	2444	25,7	9,8	58,5	94,0
Ganze Gotthardbahn . .	826	413	1757	2996	36,9	17,1	63,1	117,1	921	396	2528	3845	41,5	15.8	89,2	146,5
	Spezifische mechanische Arbeit am Radumfange in Wattstunden pro Tonnen-Kilometer				Mittlere Leistung am Radumfang für den Durchschnitts-Werktag in Pferdestärken				Spezifische mechanische Arbeit am Radumfange in Wattstunden pro Tonnen-Kilometer				Mittlere Leistung am Radumfang für einen Tag des Maximalverkehrs in Pferdestärken			
Reussgebiet	31	29	27	29	580	270	950	1800	32	29	26	28	660	250	1280	2190
Tessingebiet	34	31	26	29	960	440	1680	3080	34	30	26	28	1070	410	2430	3910
Ganze Gotthardbahn . .	33	30	26	29	1540	710	2630	4880	33	30	26	28	1730	660	3710	6100

Spezifische mechanische Leistungen am Radumfang für Fortbewegung und Anfahren beim Betriebe analog 1904.

beträgt:	Auf der Steigung in ‰					
	0	5	10	15	20	26
	Für Schnellzüge mit Lokomotivbetrieb					
Geschwindigkeit km/h	85	75	60	48	40	40
Leistung f. Fortbewegung						
in der Geraden PS/t	2,8	3,5	3,5	3,5	3,5	4,4
in Kurven 300 m PS/t	3,6	4,0	4,0	4,0	4,0	4,8
Anfahren, max. PS/t	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
	Für alle Züge mit Motorwagenbetrieb					
Geschwindigkeit km/h	55	50	45	35	30	26
Leistung f. Fortbewegung						
in der Geraden PS/t	1,1	1,8	2,4	2,4	2,5	2,8
in Kurven 300 m PS/t	1,6	2,3	2,8	2,8	2,8	3,0
Anfahren, max. PS/t	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
	Für Güterzüge					
Geschwindigkeit km/h	38	35	30	25	21	18
Leistung f. Fortbewegung						
in der Geraden PS/t	0,5	1,1	1,4	1,6	1,7	1,9
in Kurven 300 m PS/t	0,9	1,4	1,7	1,9	2,0	2,1
Anfahren, max. PS/t	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,5

Die *maximalen Leistungen,* sowohl diejenigen für die Fortbewegung auf den grossen Steigungen, wie die (kurzzeitigen) absolut maximalen für das Anfahren erweisen sich demnach bei den Schnellzügen als nicht viel geringer beim Betrieb von 1904 als in Zukunft, weil die Aenderungen hier nicht so erheblich sind; ganz bedeutend geringer aber sind die Maximalleistungen bei den Personen- und den Güterzügen, nämlich nur etwa die Hälfte.

Die *Ergebnisse bezüglich der maximalen Leistungen* sind nachfolgender Aufstellung zu entnehmen:

Erforderliche Maximalleistungen am Radumfange für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904, in PS:

Für das Gebiet	Im Durchschnittsverkehr	Im Maximalverkehr
Reussgebiet	6 190	6 580
Tessingebiet	8 670	9 920
Ganzer Kreis V	13 890	15 320

Die *Verhältnisse zwischen der maximalen und der mittleren Leistung* ergeben sich für 1904 (vergleiche Seite 76 für die Zukunft) wie folgt:

Verhältniszahlen, bezogen auf die Leistungen am Radumfang für den Betrieb der Gotthardbahn, wie 1904.

Für das Gebiet:	der Maximalleistung eines Tags des Durchschnittsverkehrs zur mittleren Leistung desselben Tages	der Maximalleistung des Tages des Maximalverkehrs zur mittleren Leistung desselben Tages	der Maximalleistung des Tages des Maximalverkehrs zur mittleren Leistung des Durchschnittstages
Reussgebiet . . .	3,4	3,0	3,7
Tessingebiet . . .	2,8	2,5	3,2
Ganzer Kreis V . .	2,8	2,5	3,1

Die Maximalleistungen für 1904 sind nicht im gleichen Masse wie die Verkehrsarbeit geringer als beim Zukunftsbetrieb, und auch die Maximalleistungen der einzelnen Tage sind nicht so gut ausgenützt, weil der Verkehr nicht so dicht ist.

Letzteres hat auch zur Folge, dass die *Zwischenmittel* weniger ausgenützt und *deren mittlere Wirkungsgrade* geringer sind:

Wirkungsgrade vom Radumfang bis zu den Turbinenwellen für den Verkehr der Gotthardbahn wie 1904.

Für den Anlageteil:	Beim Durchschnittsverkehr		Beim Maximalverkehr	
	bei der Maximalleistung des Tages	bei der mittleren Leistung des Tages	bei der Maximalleistung des Tages	bei der mittleren Leistung des Tages
Fahrzeuge	0,72	0,62	0,74	0,66
Fahrdraht	0,97	0,985	0,96	0,98
Transformatoren . .	0,96	0,92	0,97	0,94
Übertragungsleitungen	0,95	0,98	0,94	0,97
Generatoren mit Transformatoren . . .	0,86	0,78	0,87	0,80
Insgesamt	0,547	0,428	0,564	0,473

Der Gesamtwirkungsgrad von Turbinenwelle bis Radumfang sinkt für den Durchschnittsverkehr von 0,497 auf 0,428, und für die Maximalleistung von 0,570 auf 0,564.

Darnach ergibt sich das

Krafterfordernis an den Turbinenwellen der Kraftwerke für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Für das Gebiet:	Maximalleistung in PS	Maximale Tagesarbeit in PS-Stunden	Jahresarbeit in PS-Stunden
Reussgebiet . . .	11 700	111 300	34 000 000
Tessingebiet . . .	17 600	195 800	58 000 000
Ganzer Kreis V .	27 200	309 800	92 000 000

(Vergleiche die Tabelle unten auf Seite 82 für den Zukunftsbetrieb.)

Maximale Leistung und Tagesarbeit bleiben etwas unter der Hälfte derjenigen für den Zukunftsbetrieb, die Jahresarbeit ist etwas mehr als die Hälfte.

Die Kraftwerke.

Für die Bewältigung des vorerwähnten Kraftbedarfs genügt ohne weiteres je *eines* der auf der Süd- und Nordseite in Frage kommenden Kraftwerke. Für einen strengen Kostenvergleich mit dem Dampfbetriebe hätte man nun diesen Anforderungen gerade genügende, kleinere Werke in Anrechnung bringen sollen. Es lässt sich aber auch der Standpunkt einnehmen, dass man selbst dann, wenn mit der Elektrifizierung zu Zeiten eines so kleinen Verkehrs begonnen worden wäre, die Anlagen doch für den Zukunftsbetrieb vorgesehen hätte. Dabei ergeben sich selbstverständlich grössere Anlage- und Jahreskosten für die Werke, und der Vergleich wird zu Ungunsten des elektrischen Betriebs verschoben. Dessenungeachtet wurde so verfahren: Grössere Werke, die einen ersten Ausbau der jenigen für den Zukunftsverkehr darstellen, sind in die Rechnung aufgenommen worden, und zwar die Werke Ritom-Piotta und Göschenen. Beim ersteren sind gegenüber demjenigen für den Zukunftsverkehr lediglich eine geringere Seestauung und vorläufig nur 2 (anstatt 3) Druckrohrleitungen angenommen, während die wasserbauliche Anlage des Werkes Göschenen genau dieselbe ist wie beim Zukunftsverkehr. Die maschinelle Ausrüstung ist vorläufig kleiner gerechnet, nämlich:

Installierte Maschinengruppen der Kraftwerke für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Kraftwerk:	Für den Betrieb:	In Reserve:
Göschenen	$3 \times 5000 = 15\,000$ PS	1×5000 PS
Ritom-Piotta	$3 \times 7500 = 22\,500$ „	1×7500 „

Schon allein die für den Betrieb bestimmten Maschinengruppen (ohne die Reservegruppen) können, wie man sieht, wesentlich mehr leisten als erforderlich.

Eine allgemeine Reduktion der Preise für den baulichen Teil der Anlagen gegenüber den beim Zukunftsprojekt zugrundegelegten musste beim Kostenanschlag durch einen Abzug in Anrechnung gebracht werden, weil zu der dem elektrischen Betrieb anno 1904 entsprechenden Bauzeit die Baupreise wesentlich niedriger waren als sie für die Zukunft eingesetzt wurden.

Die Energieverteilungsanlagen

begreifen wiederum *drei* besondere *Transformatorenstationen* 45 000/15 000 Volt in Goldau, Giubiasco und Lugano in sich, und zwar mit beziehungsweise 3, 4 und 3 Transformatoren von je 2600 Kilowatt Höchstleistung; dazu kommen die Einrichtungen für direkte Abgabe von 15 000 Volt-Strom an die Fahrdrähte in den Kraftwerken Piotta und Göschenen; weiter die 45 000 Volt *Uebertragungsleitungen* nach diesen Stationen, jedoch mit geringeren Querschnitten. Eine Verbindung in der Oberspannung zwischen Göschenen und Piotta ist, mit reduziertem Querschnitt, auch jetzt angenommen.

Als *Fahrdraht- und Speiseleitungen* sind dieselben gerechnet wie für den Zukunftsverkehr. Es wurde auch hier der Standpunkt eingenommen, dass der Bau den späteren Zukunftsverkehr vorzusehen habe und die schwierige Auswechslung dieser Leitungen gegen stärkere zu vermeiden sei.

Die elektrischen Triebfahrzeuge.

Die vorgesehenen kleineren Geschwindigkeiten erfordern für den Verkehr von 1904 wesentlich geringere Leistungen der Triebfahrzeuge als der Zukunftsverkehr, wogegen die allgemeinen Gründe wieder zu den 4 Typen: Schnellzugslokomotive, Güterzugslokomotive, schwerer und leichter Motorwagen führen. Haupteigenschaften und Anzahl dieser Fahrzeuge finden sich in folgender Tabelle:

Hauptdaten der elektrischen Triebmittel für den Verkehr der Gotthardbahn wie 1904.

Art und Zweck des Triebmittels:	Erforderliche Leistungen: Es ist im Maximum zu befördern: auf grösster Steigung von 26 ‰: angehängtes Zugsgewicht von t	auf grösster Steigung von 26 ‰: mit der Geschwindigkeit von km/h	auf horizontaler Bahn: angehängtes Zugsgewicht von t	auf horizontaler Bahn: mit der Geschwindigkeit von km/h	Vorgesehene Ausführung: Normale: Steigung ‰	Zugkraft kg	Geschwindigkeit km/h	Leistung PS	mit dem Gewichte: Total t	Adhäsion t	in der Anzahl der Triebmittel: für den Durchschnittsverkehr	Zuschlag für Maximalverkehr	Zuschlag f. Reserve und Reparatur	Total
Lokomotive für Schnellzüge	280	40	280	85	26	12 000	40	1800	100	72	4	1	4	9
Lokomotive für Güterzüge	300	18	520	38	26	11 500	18	800	82	82	20	8	9	37
Motorwagen, schwere Type	155	26	155	55	26	5 500	26	550	60 (elektr. Ausrüstg. 30 t)	60	8	—	3	11
Motorwagen, leichte Type	auf 10 ‰ Steigung 130	26	130	55	10	2 000	26	200	46 (elektr. Ausrüstg. 18 t)	46	6	—	2	8

Bezüglich des später in die Rechnung einzufügenden Preises der Lokomotiven ist zu bemerken, dass diese Maschinen einen verhältnismässig viel weiteren Regulierbereich haben müssen als diejenigen des Zukunftsverkehrs, weshalb sie in der elektrischen Ausrüstung relativ teurer kommen und mit dem (voraussichtlich etwas zu hohen) gleichen absoluten Preise angerechnet wurden wie die des Zukunftsverkehrs.

Rangierdienst. Dieser würde von 17 der vorhandenen Dampflokomotiven besorgt.

Heizung und Beleuchtung. Für den Betrieb 1904 kämen lediglich die Vorkehren für Heizkessel und Heizwagen analog wie beim Zukunftsbetrieb als neu hinzu.

Verschiedene Anlagen.

Depot- und Werkstätteanlagen. Beim Uebergang auf elektrischen Betrieb müssten trotz gleichbleibendem Verkehr gewisse Aenderungen und Neu-Ausrüstungen dieser Anlagen vorgenommen werden, die anzurechnen sind.

Umbau der Schwachstromanlagen. Dieser ist genau gleich auszuführen wie für den Zukunftsbetrieb.

Voranschlag der Anlagekosten für die Elektrifizierung der Gotthardbahn für einen Betrieb wie 1904 (jedoch für Vermehrung vorgesehen).

Kraftwerke.

Wasserbaulicher und allgemeiner Teil:	Werk Ritom-Piotta Fr.	Werk Göschenen Fr.
Wasserfassung, Verbauungen, Zuleitungsstollen, Wasserschloss, Druckleitung mit Unterbau, Verteilleitung beim Maschinenhaus, Zufahrten etc., Maschinenhaus samt Fundationen, Landerwerb, Anteil a. d. Konzessionsgebühr, Bauleitung, Bauzinsen, Diverses (Unvorhergesehenes überall inbegriffen)	5 165 000	3 510 000

Reduziert wegen früher niedrigerer Einheitspreise auf	5 055 000	3 440 000
Maschineller und elektrischer Teil:		
Generatorturbinen und Erregerturbinen, Generatoren und Schaltanlagen, Transformatorenanlagen, Apparate für abgehende Leitungen etc., Bauleitung, Bauzinsen und Diverses, Unvorhergesehenes	1 365 000	1 046 000
Insgesamt	6 420 000	4 486 000
Gesamtanlagekosten der Kraftwerke		10 906 000

Verteilanlagen.

Übertragungsleitungen:	Fr.
Göschenen-Goldau, Göschenen-Piotta, Piotta-Giubiasco und Lugano; Bauleitung, Bauzinsen, Diverses und Unvorhergesehenes .	3 721 000
Unterstationen:	
Transformatorstationen 45 000/16 000 Volt in Goldau, Giubiasco, Lugano; Anlagen für Abgabe von 16 000 Volt (soweit nicht schon dort berechnet) in den Kraftwerken Göschenen und Piotta; Bauleitung, Bauzinsen und Diverses, Unvorhergesehenes .	1 373 000
Gesamtanlagekosten der Verteilanlagen	5 094 000

Fahrdraht- und Speiseleitungen.

Wie für den Zukunftsverkehr (siehe Seite 96)	9 770 000

Rollmaterial.

Triebfahrzeuge.	Fr.	Fr.
9 Schnellzugslokomotiven . . .	2 070 000	
37 Güterzugslokomotiven	6 660 000	
11 schwere Motorwagen	1 485 000	
8 leichte Motorwagen	768 000	10 983 000
Reservebestandteile		400 000
	Übertrag	11 383 000

	Fr.
Übertrag	11 383 000
Heizeinrichtungen und Diverses.	
9 Heizkessel auf Schnellzugslokomotiven, 5 Heizwagen, Ausrüstung der vorhandenen Personenwagen (762 Achsen) für elektrische Heizung; ebenso der Gepäck- und Postwagen, sowie von Personenwagen anderer Kreise, die auf der G. B. zirkulieren; diverse Aenderungen an bestehendem Rollmaterial	749 000
Gesamtkosten an Rollmaterial	12 132 000
Ausbau und Änderungen der Depotanlagen und Reparaturwerkstätten.	
Aenderungen an Depots und Werkstätten, Rüstzeug für den Unterhalt der elektrischen Leitungen	950 000
Gesamtkosten an Depots und Werkstätten	950 000
Umbau der Schwachstromanlagen.	
Wie für den Zukunftsverkehr (siehe Seite 98)	3 500 000
General-Unvorhergesehenes.	
Erhöhung der in den Einzelposten aufgeführten oder enthaltenen Beträge für Unvorhergesehenes auf insgesamt 8% der Gesamtkosten	2 148 000
Zusammenzug der Anlagekosten.	
Kraftwerke	10 906 000
Energieverteilungsanlagen	5 094 000
	16 000 000
Fahrdraht- und Speiseleitungen	9 770 000
Rollmaterial	12 132 000
Depots und Reparaturwerkstätten	950 000
Schwachstromanlagen	3 500 000
General-Unvorhergesehenes	2 148 000
Gesamtkosten der Neuanlagen	44 500 000

Die Betriebskosten.

Jahreskosten der Energie an den Speisepunkten. Bei den direkten Betriebsausgaben für die Kraftwerke und Verteilanlagen tritt gegenüber dem Zukunftsbetrieb eine Ersparnis in den Kosten des Ueberwachungspersonals ein, weil nur 2 Kraftwerke zu bedienen sind, ferner (wegen kleinerer Kraftwerks- und Verteilanlagen) im Materialverbrauch und in den Reparaturkosten, während die Zentralleitung und Bedienung der Unterwerke gleich viel kosten. Auch die Ausgaben für Versicherung und Diverses werden etwas kleiner. Bei allen indirekten Ausgaben für Zins und Einlagen in den Erneuerungsfonds treten gegenüber dem Zukunftsbetrieb den Kapitalkosten entsprechende Verminderungen ein. Das Resultat ist das nachstehende:

Jahreskosten der Erzeugung und Verteilung der Energie für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Gegenstand	Zentralleitung	Kraftwerke Göschenen und Ritom	Zentralleitung und Kraftwerke zusammen	Energieverteilung bis zu den Hauptspeisepunkten	Gesamtkosten bis zu den Hauptspeisepunkten
Personalkosten [1] . .	28 000	113 000	141 000	36 000	177 000
Materialverbrauch, Unterhalt u. laufende Reparaturen [2] . .	—	117 000	117 000	138 600	255 600
Wasserzinse, Versicherungen u. Diverses .	235 800	—	235 800	—	235 800
Kapitalzins	—	436 240	436 240	203 760	640 000
Einlagen in den Erneuerungsfonds . .	—	88 000	88 000	113 600	201 600
Zusammen	263 800	754 240	1 018 040	491 960	1 510 000

[1]) Exklusive Personalkosten der laufenden Reparaturen.
[2]) Inklusive zugehörige Personalkosten.

Die *Selbstkosten der Energie bei den Ausführungen aus den Kraftwerken* ergeben sich somit zu Fr. 1,018,040 per Jahr. Mit denselben Reserven wie auf Seite 103 über den beschränkten Wert einer solchen Angabe rechnen wir auch hier diese Kosten per Kilowattstunde: Es sind nach Seite 119 92 000 000 Pferdekraftstunden ab Turbinen zu liefern für die Traktion; dies ergibt mit 78% mittlerem Wirkungsgrad der Generatoren und Auftransformatoren (Seite 119) 52,7 Millionen Kilowattstunden bei den Kraftwerksausführungen und mit Inbegriff eines Zuschlags von ungefähr 5% für Heizung und Beleuchtung rund 56 Millionen KWh; so stellt sich die Kilowattstunde ab Kraftwerksausführungen *bei dieser Benutzung* auf rund 1,8 Rp., also etwa 10% teurer als beim Zukunftsverkehr.

Die (übrigen) direkten Jahreskosten des Fahrdienstes wurden auf Basis der 1904 beim Dampfbetrieb wirklich vorhanden gewesenen Verhältnisse betreffend Besoldungsansätze, Rückvergütungen etc. bestimmt, beim Dampfbetrieb die wirklichen Ausgaben für Kohlen etc. eingesetzt.

Die indirekten Kosten des Fahrdienstes sind wie beim Zukunftsverkehr für zwei Varianten der Berechnung aufgestellt, nämlich mit und ohne Abschreibung der freiwerdenden Dampflokomotiven.

Den so entstandenen Betriebskostenvoranschlag lassen wir hier folgen:

Voranschlag der Betriebskosten (Jahreskosten des „Fahrdienstes") für den Betrieb der Gotthardbahn wie 1904.

Direkte Jahreskosten.

	Elektrischer Betrieb		Dampfbetrieb	
Personalausgaben.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
Obermaschineningenieur u. Hilfspersonal	90 040		76 640	
Maschinenpersonal und Wagenvisiteure	1 144 370		1 440 280	
Personal für Reinigung u. Ausrüstung des Fahrmaterials	154 000		218 590	
		1 388 410		1 735 510
Materialkosten.				
Elektrische Energie	1 510 000			
Brennmaterial für die Lokomotiven	162 490		2 163 400	
Heizmaterial	70 000		16 240	
Schmiermaterial	51 110		108 750	
Reinigungs- u. versch. Material	29 620		36 660	
Beleuchtungsmaterial	110 030		147 650	
		1 933 250		2 472 700
Unterhaltung und Erneuerung des Rollmaterials und der Fahr- und Speiseleitungen.				
Triebfahrzeuge	559 410		925 120	
Wagen	573 250		570 650	
Fahrdraht und Speiseleitungen	245 000		—	
		1 377 660		1 495 770
Sonstige Ausgaben		44 200		45 990
Total der direkten Bruttoausgaben des Fahrdienstes		4 743 520		5 749 970
Rückerstattungen von Fahrdienstkosten.				
Anteile am Gemeinschaftsdienst der Bahnhöfe	34 910		34 910	
Rückerstattung von der F. S.	117 600		118 200	
Rückerstattung von der eidg. Post	18 860		18 860	
Rückerstattung des Bahnunterhaltungsdienstes	12 000		10 400	
Rückerstattung für fremde Wagenreparaturen	14 820		14 820	
Total Rückerstattungen		198 190		197 190
Total der direkten Nettoausgaben des Fahrdienstes		4 545 330		5 552 780

Indirekte Jahreskosten.

Verzinsung des Anlagekapitals.

	Kapitalien:		Jahresbeträge:	
	Elektrischer Betrieb	**Dampfbetrieb**	**Elektrischer Betrieb**	**Dampfbetrieb**
	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.
Gesamtes Rollmaterial samt Reservematerial	26 793 260	24 808 540		
Fahrdraht- und Speiseleitungen	9 769 000	—		
Depot- und Werkstätte-Einrichtungen	950 000	—		
Schwachstromanlagen	3 500 000	—		
General-Unvorhergesehenes	2 149 000	—		
4 % von	43 161 260	24 808 540	1 726 450	992 320

Amortisation des Anlagekapitals.

Rollmaterial ohne Reserveteile	25 893 260	24 000 540		
Fahr- und Speiseleitungen	9 769 000	—		
	35 662 260	24 000 540		
Davon 30 %:	10 698 680	7 200 160		
Reserveteile	900 000	808 000		
Depots und Werkstatteinrichtungen	950 000	—		
Schwachstromanlagen	3 500 000	—		
Unvorhergesehenes	2 149 002	—		
0,42 % von	18 197 680	8 008 160	76 430	33 630

Einlagen in den Erneuerungsfond.

Rollmaterial	366 650	257 600		
Fahr- und Speiseleitungen	132 860	—	499 510	257 600
Total der indirekten Jahresausgaben des Fahrdienstes (*ohne* Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven)			2 302 390	1 283 550

Vollständige Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven.

	Fr.		
Inventarwert derselben	9 536 708		
ab: Sollwert der Erneuerungsrücklagen und Altmaterialwert	3 782 150		
4 % Zins und 0,42 % Abschreibung vom Rest	5 754 558	254 350	—
Total der indirekten Jahresausgaben des Fahrdienstes (*mit vollständiger* Abschreibung aller entbehrlichen Dampflokomotiven)		2 556 740	1 283 550

Zusammenzug der Jahreskosten des Fahrdienstes.

	Elektrischer Betrieb	Dampfbetrieb
	Fr.	Fr.
Direkte Netto-Jahreskosten	4 545 330	5 552 780
Indirekte Jahreskosten (ohne Lokomotiven-Abschreibung)	2 302 390	1 283 550
Gesamtjahreskosten des Fahrdienstes ohne Lokomotivenabschreibung	**6 847 720**	**6 836 330**
Vollständige Abschreibung der entbehrlichen Dampflokomotiven	254 350	—
Gesamtjahreskosten des Fahresdienstes mit vollständiger Lokomotivenabschreibung .	**7 102 070**	**6 836 330**

Aus den vorstehenden Totalkosten ergeben sich nun unter Berücksichtigung, dass dafür beim elektrischen Betrieb 777, beim Dampfbetrieb 776 Millionen Bruttotonnenkilometer *angehängten* Zugsgewichts geleistet werden:

Die spezifischen Gesamtjahreskosten des Fahrdienstes für den Verkehr der Gotthardbahn wie 1904

pro Brutto-Tonnenkilometer angehängten Zugsgewichts

beim stattgehabten Dampfbetrieb	beim projektierten elektrischen Betriebe **ohne** Amortisation der entbehrlichen Dampflokomotiven	**mit vollständiger** Amortisation der entbehrlichen Dampflokomotiven
zu **0,88** Rappen	zu **0,88** Rappen	zu **0,91** Rappen

Ergebnis.

Wir finden somit, dass der Betrieb der Gotthardbahn bei einem kleinen Verkehr wie 1904 *nach dem angenommenen Projekt* für elektrischen Betrieb sich gerade gleich teuer gestellt hätte wie der Dampfbetrieb, wenn man die Dampflokomotiven, soweit sie nicht für den Rangierbetrieb behalten würden, an andere Betriebskreise hätte abgeben und somit die Elektrifizierung nicht mit deren Amortisierungen hätte belasten müssen. Dagegen wäre der elektrische Betrieb mit Abschreibung der Dampflokomotiven bei dieser Anordnung etwas teurer gekommen.

Bei Würdigung dieses Resultats darf aber nicht übersehen werden, *dass die projektierten Kraftwerke und Energieverteilungsanlagen des elektrischen Betriebs ganz wesentlich grösser und teurer angenommen wurden als für einen dem Dampfbetrieb 1904 entsprechenden elektrischen Betrieb nötig wäre,* und dass auch die *Fahrdrahtanlagen entsprechend einem wesentlich stärkeren Verkehr erstellt* gedacht wurden. Die Zusammensetzung der Jahresausgaben zeigt, dass eine entsprechende Verkleinerung der Kraftwerksanlagen durch Verminderung ihres Zinsen- und Unterhaltsdienstes, namentlich aber schon eine kleine Herabsetzung des Zinsfusses überhaupt, bewirken können, dass auch bei diesem geringen, heute schon überholten Verkehre der billigere Einheitspreis auf Seite des *elektrischen* Betriebs kommt, selbst mit Inbegriff von Lokomotiven-Amortisation.

Die Ergebnisse der Projekte für den Zukunftsbetrieb des Bundesbahnkreises II.

Allgemeines.

Es stand von vornherein auf dem Programm der Studienkommission, die Aufstellung von Betriebsprojekten zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebes für mehrere typische Teile des Bundesbahnnetzes vorzunehmen, da die verschiedenen Gebiete sowohl in den technischen wie in den Verkehrsverhältnissen grosse Unterschiede aufweisen und die Kraftbeschaffung nicht für alle gleich bequem ist. Als Gegenstück zur Gotthardbahn war der Kreis II gewählt worden, der namentlich in bezug auf Zufuhr der Energie weit ungünstiger liegt als die Gotthardbahn. Die Berechnungen wurden dadurch sehr verzögert, dass die Statistik über den Verkehr hier nicht so, wie sie dazu nötig, vorhanden war, sondern erst geschaffen werden musste. Es würde die vorliegende Schrift zu umfangreich gestalten, wenn darin die Grundlagen und Resultate dieser Projekte ebenso eingehend behandelt würden wie

beim Kreise V; die Projekte sind in vollständig analoger, eingehender Weise bearbeitet worden wie dort; im nachstehenden mögen auszugsweise Angaben darüber genügen.

Verkehrstechnische Grundlagen.

Mit Rücksicht auf das vermutlich erst in einer Reihe von Jahren erfolgende Eintreten der Elektrifikation wurde ein Zukunftsverkehr zugrunde gelegt, der gegenüber dem zur Zeit des Beginns der Untersuchungen verkehrsreichsten Jahre 1908 eine Steigerung der Verkehrsarbeit an *angehängtem* Zugsgewicht um 30% in sich begreift. Demgemäss wurden die Zugszahlen erhöht und der Fahrplan gestaltet. Die Geschwindigkeiten wurden auf diejenigen des Zukunftsprojekts des Gotthardbetriebs erhöht, ebenso die Beschleunigungen. Gegenüber dem bisherigen Dampfbetrieb ist die Geschwindigkeitssteigerung viel bedeutender, als bei dem Gotthardbahn-Projekt.

Der Kraftbedarf und dessen Befriedigung.

Der spezifische Bedarf an mechanischer Arbeit am Radumfang ergab sich per Tonnenkilometer zu

Im Durchschnittsverkehr:				Im Maximalverkehr:			
Schnellzüge:	Personenzüge:	Güterzüge:	Insgesamt:	Schnellzüge:	Personenzüge:	Güterzüge	Insgesamt:
42	40	26	34	42	40	27	34

ist also für den Personentransport und im Mittel etwas höher als bei der Gotthardbahn.

Das *Verhältnis zwischen der maximalen und der mittleren Leistung* am Radumfang ist im Mittel 3,1 für den ganzen Kreis II, d. h. etwas günstiger als bei der Gotthardbahn, in einzelnen Speispunktbezirken aber wegen sehr schwankenden Verkehrs erheblich grösser.

Die erforderlichen *Maximalleistungen* für den ganzen Kreis betragen für den

	Durchschnittsverkehr:	Maximalverkehr:
am Radumfang	38 150 PS	48 800 PS

demgemäss an den Turbinenwellen im Maximum rund 90 000 PS.

Die *mittlere Jahresleistung* dagegen ergab sich
am Radumfang zu 15 480 PS,
an den Turbinenwellen zu rund 31 000 PS.

Innerhalb oder in der Nähe des Gebietes des Kreises II sind keine zur Abgabe dieser ganzen Kraft geeigneten Wasserkräfte vorhanden, bezw. noch zur Verfügung des Bundes.

Als wasserwirtschaftlich günstige aber finanziell ungünstige Lösung zeigten die Untersuchungen die Übertragung von Energie von den Gotthardwerken her, die dann entsprechend zu verstärken wären, mit oder ohne Zuzug einer relativ nächstgelegenen Wasserkraft bei *Rupperswil*. Den Berechnungen wurde dann Speisung aus dem letztern Werke und einem Akkumulierwerk bei *Guttannen* (Konzessionsinhaber die Bernischen Kraftwerke) zugrunde gelegt. Das erstere wurde zu 22 500 PS ausgebaut angenommen (durchschnittliche Jahresleistung ca. 12 000 PS), das letztere zu 100 000 PS. Diese beiden Werke zusammen leisten dann allerdings wesentlich mehr als für den Kreis II allein erforderlich sein wird.

Die Verteilungsanlagen.

Vorläufig wurden Übertragungsleitungen für 90 000 Volt angenommen, welche die Werke und Unterwerke (Haupt-Transformerstationen) verbinden. Die letzteren wären 8 an Zahl: Basel, Olten, Herzogenbuchsee, Bern, Biel, Delsberg, Langnau und Luzern.

Das Rollmaterial

wurde als passend befunden mit

64 Schnellzugslokomotiven	von 2100 PS	Stundenleistung
68 schwere Güterzugslokomotiven	„ 1200 „	„
62 leichte Güterzugslokomotiven	„ 960 „	„
9 Motorwagen	„ 450 „	„

Dazu allgemeine Wagenparksvermehrung wegen gesteigerten Verkehrs und verschiedene Aenderungen für die Heizung usw.

Die Anlagekosten für die Elektrifizierung

für den Bundesbahnkreis II, alles erforderliche für jenen Zukunftsverkehr umfassend, ergeben sich in runden Zahlen wie folgt:

	Fr.
Kraftwerke, einschliesslich elektrische Einrichtungen, Bauzinsen, Bauleitung und Unvorhergesehenes:	
Guttannen . . . . . rund	22 000 000
Rupperswil . . . . . „	12 000 000
Zusammen	34 000 000
Uebertragungsleitungen und Unterwerke samt Bauzinsen, Bauleitung und Unvorhergesehenem	17 500 000
Fahrdraht, Schienenrückleitungen, Schwachstromleitungen, Aenderungen an Depots u. dgl., ebenso	17 500 000
	69 000 000
Rollmaterial samt Wagenparkvermehrung, Aenderungen und Reservebestandteilen, einschliesslich Unvorhergesehenes	50 000 000
Aenderungen an Depotanlagen, Werkstätten etc., ebenso	2 300 000
Aenderungen an Schwachstromanlagen, ebenso	7 300 000
General-Unvorhergesehenes	7 400 000
Insgesamt rund:	136 000 000

Die Betriebskosten des elektrischen Zukunftsbetriebs.

Das Ergebnis der Betriebskostenberechnung, in genau analoger Weise ausgeführt wie beim Zukunftsverkehr der Gotthardbahn, zeigt folgende Zusammenstellung:

Direkte Jahreskosten:	Fr.	Fr.	Fr.
Personalausgaben		5 151 000	
Materialkosten ohne die elektrische Energie		1 743 000	
Elektrische Energie:			
Für Kraftwerke u. Verteilanlagen			
Direkte Ausgaben inkl. Wasserzins	1 363 000		
Kapitalverzinsung	2 040 000		
Einlagen in Erneuerungsfonds . .	747 000	4 150 000	
Unterhalt und Erneuerung des Rollmaterials und der Fahrdrahtleitungen		3 900 800	
Sonstige Ausgaben.		135 200	15 080 000
Indirekte Jahreskosten:			
Verzinsung des Anlagekapitals . .		4 871 160	
Amortisation des Anlagekapitals. .		206 360	
Einlagen in den Erneuerungsfonds.		1 413 040	6 490 560
		Total	21 570 560

Die Ergebnisse der Betriebsrechnung.

mit der geleisteten, gegenüber heute erhöhten Verkehrsarbeit in Beziehung gebracht, ergeben als

Spezifische totale (direkte und indirekte) Fahrdienstkosten im gleichen Sinn und Umfang wie beim Gotthardprojekt

	für den elektr. Betrieb:	gegenüber dem Dampfbetrieb 1908:
pro t km angehängtes Gewicht	1,06	0,98 Rp.

Das Ergebnis ist also hier etwas ungünstiger als beim Kreise V, und unter den angenommenen Verhältnissen würde sich vorläufig der zukünftige elektrische Betrieb noch etwas teurer gestalten als der bisherige mit Dampf. Es darf aber dabei nicht ausser Acht gelassen werden, dass für die Kraftversorgung nicht die billigste Möglichkeit gewählt wurde, sondern eine teurere mit ungenügend ausgenützten Kräften. Wird die Energiebeschaffung für die Bundesbahnen einmal als Ganzes behandelt, so werden sich die Kraftwerke viel besser ausnützen lassen und auch noch günstigere in Betracht kommen, es wird auf

den Kreis II ein wesentlich kleinerer Teil an Anlagekosten und Betriebskosten von Kraftwerken entfallen, als nach vostehender Rechnung mit besonderen und relativ sehr grossen Kraftwerken der Fall ist. Die scheinbaren Mehrkosten des elektrischen Betriebs können auf diese Weise verschwinden.

Es darf aber ausserdem nicht vergessen werden, dass ein Betrieb mit viel grösseren Geschwindigkeiten, wie es der elektrische sein wird, auch mit *denselben* Betriebsmitteln, d. h. auch mit Dampf, pro Einheit der Verkehrsarbeit (tkm) wesentlich höhere Kosten ergeben muss, wie in der folgenden Schlussbetrachtung näher gezeigt wird.

Schlussbetrachtung zur Kostenfrage.

Für die Abwägung der Wirtschaftlichkeit des elektrischen Betriebs gegenüber dem Dampfbetrieb kommen offenbar die Verhältnisse eines Verkehrs, der heute schon überholt ist, nicht oder wenig in Betracht; massgebend ist der Vergleich für denjenigen Verkehr, wie er zum allermindesten zur Zeit nach Einführung des elektrischen Betriebs vorhanden sein wird. Die Resultate des Kostenvergleichs zwischen den bei der Gotthardbahn 1904 vorhanden gewesenen Verkehr und Betrieb mit Dampf und einem gleichen elektrischen haben daher tatsächlich für die Zukunft wenig Bedeutung.

Anderseits lassen auch die finanziellen Resultate der Projekte für den elektrischen Zukunftsbetrieb der Kreise V und II keinen direkten Vergleich, auch nicht in den spezifischen Kosten der Einheit der Transportarbeit, zu, weil jede Verkehrssteigerung auch unter Beibehaltung derselben Betriebsart eine Verminderung dieser spezifischen Kosten mit sich bringt. Zugunsten der Resultate der elektrischen Traktion kommt aber noch folgendes Moment hinzu:

Wie früher (Seite 116) nachgewiesen, erfordert der angenommene *raschere* Transport des zukünftigen Fahrplans mindestens 10 % mehr Energie als dieselben Transportmengen bei den bisherigen Geschwindigkeiten. Diese Mehrarbeit müsste auch bei beschleunigtem *Dampf*betrieb geleistet werden und würde einen entsprechenden Mehrkon-

sum an Kohlen ergeben, der in vorstehenden Vergleichen bei den Einheitskosten des Dampfbetriebs nicht eingerechnet ist. Diese Mehrausgabe dürfte die anderseits durch Vermehrung der Verkehrsarbeit an sich (auch beim Dampfbetrieb) eintretende Verbilligung pro Tonnenkilometer kompensieren; aus diesem Grunde werden die Einheitspreise des vermehrten elektrischen Verkehrs doch direkt denjenigen des Dampfbetriebs der Jahre bisher grössten Verkehrs ungefähr vergleichbar.

Den spezifischen Kosten des elektrischen Zukunftsbetriebs des Kreises II haftet neben der grössern Geschwindigkeitssteigerung auch eine relativ unrationelle Kraftversorgung an, die sich in Wirklichkeit im Zusammenhang des ganzen Bundesbahnnetzes voraussichtlich erheblich billiger gestalten würde. Es kommt daher diesen Zahlen weniger Wert zu als den für die Gotthardbahn gefundenen, auf Seite 112 angegebenen:

Kosten der Gesamtfahrdienst-Ausgaben per angehängten Bruttotonnenkilometer für den *zukünftigen elektrischen* Betrieb: **0,70** Rp., für den *bisherigen Dampfbetrieb* (1907, bezw. 1908): **0,88**, bezw. **0,94** Rp.

Zu dem hier vorkommenden wirtschaftlichen Vorteil der zukünftigen elektrischen Traktion kommen nun folgende, im gleichen Sinne wirkende Momente hinzu:

Für die weitere Zukunft werden die Jahresausgaben für den elektrischen Betrieb noch beträchtlich mehr unter diejenigen des entsprechenden Dampfbetriebs sinken, weil die Betriebsenergie, die ungefähr ¼ der Ausgaben des Fahrdienstes entspricht, mit der fortschreitenden Abschreibung und besseren Ausnützung der Kraftwerke immer billiger werden wird (denn die Personalkosten spielen bei den Kraftwerken eine ganz nebensächliche, die Anlagekosten die Hauptrolle), während die entsprechenden Auslagen beim Dampfbetriebe, diejenigen für die Kohlen, mit Sicherheit pro Einheit stetig grösser werden, ja vielleicht ganz unerwartete Steigerungen erfahren können.

Der projektierte und der Rechnung zugrundegelegte elektrische Betrieb bringt ferner eine gewaltige Verbesserung durch *Vermehrung der Geschwindigkeiten und viel bessere Ausnützung der eigentlichen Bahnanlagen*, in einem Masse, das der Dampfbetrieb überhaupt kaum leisten

könnte. Sollte man mit Dampf dasselbe erreichen, so wären unter allen Umständen andere Lokomotiven erforderlich; es müssten dann auch für den Zukunfts-*Dampf*-Betrieb die vorhandenen Lokomotiven abgeschrieben und neue angeschafft werden, wobei noch zu untersuchen bliebe, ob Dampflokomotiven von der Leistungsfähigkeit der projektierten elektrischen nicht ausserdem Verstärkungen der Bahnanlage rufen müssten. Es geht daraus hervor, dass wenn man *dieselben Anforderungen an die Geschwindigkeiten stellen wollte beim Dampfbetrieb* wie im Projekt für den elektrischen angenommen, der erstere, wenn überhaupt so erzielbar, schon von Anfang an viel mehr kosten würde.

Endlich ist zu erwarten, dass die mit dem elektrischen Betriebe eintretenden Verkehrsverbesserungen, wie namentlich die *Abkürzung der Reisezeit* für Personen- und die viel *grössere Ausnützung der Bahnanlage* für den Gütertransport, ganz abgesehen von den Annehmlichkeiten der *Rauchlosigkeit*, auch einer namhaften *spezifischen* Verstärkung des Verkehrs, einer *Verbesserung des Verhältnisses der Einnahmen zu den Ausgaben* rufen werden.

Man kommt daher zum *Schlusse:*

Der elektrische Vollbahnbetrieb ist technisch zuverlässig und vollkommen befriedigend möglich.

Für die Verhältnisse der schweizerischen Bundesbahnen, auch mit besonderer Berücksichtigung der Gotthardbahn, eignet sich am besten das Betriebssystem mit Einphasenstrom von ungefähr 15 Perioden und einer Fahrdrahtspannung von etwa 15 000 Volt, wobei diese Stromart zweckmässig direkt als solche in Wasserkraftwerken zu erzeugen und auf möglichste Verwendung von Werken mit Akkumulierfähigkeit zu sehen ist.

Die für diese Betriebsart durchgerechneten Projekte für den elektrischen Betrieb der Gotthardbahn zeigen, dass dieser für einen Verkehr, wie er bei Einführung der Elektrifikation vorhanden sein wird, schon bei den gegenwärtigen Kohlenpreisen trotz Annahme wesentlich grösserer Geschwindigkeiten erheblich billiger sein wird als der Dampfbetrieb, wozu die Vorteile der Rauchlosigkeit und der Möglichkeit besserer Ausnützung der Bahnanlage hinzukommen.

III. Die Befriedigung des Kraftbedarfs für den hydroelektrischen Betrieb aller Schweizerbahnen.

Nachdem die technische und wirtschaftliche Möglichkeit des elektrischen Betriebs der Schweizer Bahnen nach allen Richtungen erschöpfend durch die Studienkommission behandelt und die Resultate durch Ausführungsprojekte erhärtet sind, erscheint es angezeigt, nun nochmals anhand der erzielten genaueren Resultate zu untersuchen, ob die früher [1]) anhand des bestehenden *Dampf*betriebs ermittelten Daten des Kraftbedarfs für den *zukünftigen elektrischen* Betrieb Aenderungen erleiden und ob und wie es darnach möglich erscheint, den Betrieb durch geeignete Wasserkräfte auch für alle Zukunft zu sichern.

Die grösste bisher vorgekommene Steigerung der Verkehrsmengen gegenüber dem seinerzeit zugrunde gelegten Dampfbetrieb von 1904 weist die Gotthardbahn auf, und zwar in den Jahren 1907 und 1910 ziemlich übereinstimmend je *40*% mehr nützliche Transportarbeit, d. h. „angehängte" Brutto-Tonnenkilometer. Das für die Gotthardbahn ausgearbeitete Projekt für elektrischen Betrieb sieht dagegen, wie dort bemerkt, *85*% mehr angehängte Brutto-Tonnen-Kilometer vor als 1904. Um für die absehbare Zukunft sicher zu sein, wurde den neuen Ueberschlagsrechnungen jedoch rund *100*% *Steigerung* der angehängten Brutto-Tonnen-Kilometer, also eine *Verdoppelung der Verkehrsmengen des Dampfbetriebs von 1904*, und *zwar für alle Schweizerbahnen*, zugrunde gelegt. Die Ausführungsprojekte hatten dazu sehr eingehend berechnete Zahlen über die Triebmittelgewichte und den spezifischen Energiebedarf pro Brutto-Tonnen-Kilometer am Fahrdraht wie auch ab Kraftwerken geliefert, mit Hilfe deren sich der *Arbeitsbedarf* am Radumfang und an den Kraft-

[1]) Mitteilung Nr. 1 der Schweiz. Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb. Zürich 1906.

werken recht zuverlässig bestimmen liess. Ebenso gaben die Projekte genügende Uebersicht über die für die einzelnen Speisegebiete auftretenden Verhältnisse zwischen der *maximalen* und der mittleren *Leistung*, so dass die ersteren sich ebenfalls feststellen liessen.

Die Tabelle auf Seite 141 gibt die *Resultate des Gesamtkraftbedarfs* in runden Zahlen. Dabei wurde, lediglich um eine gewisse Uebersicht zu gewinnen, eine örtliche Verteilung nach den 5 Bundesbahnkreisen eingehalten; der Bedarf der Privatbahnen ist dabei dem desjenigen Kreises zugeschlagen, in oder bei dem sie sich befinden.

Geschätzt ist in der Tafel natürlich der (wie bereits erwähnt gegenüber 1904 im angehängten Gewicht verdoppelte) Verkehr.

Es würden demnach *Wasserkräfte, die jährlich rund etwa 1200 bis 1300 Millionen Pferdekraftstunden ab Turbinen liefern können, und dabei für eine Maximalleistung von rund 500 000 Pferdestärken ab Turbinen ausgebaut sind, für den absehbaren Zukunftsbedarf aller Schweizer-Bahnen genügen.* (Die früheren Untersuchungen, denen noch keine so genauen Ermittlungen, besonders über das Verhältnis der maximalen zur mittleren Leistung, zur Verfügung standen, hatten den Bedarf einer gleich grossen *Maximal*leistung schon für den bestehenden Betrieb vorausgesehen, und ungefähr $^2/_3$ des jetzt für die Zukunft ermittelten jährlichen *Arbeits*bedarfs.)

Demgegenüber haben Studien über die Wasserkräfte, welche die Kommission durch Fachleute vornehmen liess, in kurzer Zeit eine Liste von ungefähr einem Dutzend geeigneter, heute noch freier oder bereits für die Bundesbahnen reservierter Wasserkäfte zutage gefördert, welche bei geeigneter Kombination rund 1800 Millionen Pferdekraftstunden per Jahr ab Turbinen liefern und dabei leicht auf rund 625 000 PS Maximalleistung ausgebaut werden können.

Auch die genügende und wirtschaftliche Lieferung eigener hydraulischer Kraft für den elektrischen Betrieb aller Schweizerbahnen erscheint somit zweifellos möglich, wenn diese Kräfte dafür gesichert werden. Der Bedarf für die Industrie und die Beleuchtung wird daneben auch für

Übersicht

über den ungefähren Kraftbedarf der Zukunft für den elektrischen Betrieb aller Bahnen der Schweiz und über den dafür angenommenen Verkehr.

Bundesbahnen und **Privatbahnen** im Gebiete des Kreises	**Zukunftsverkehr** in Millionen Brutto-Tonnen-Kilometer (Gesamtzugsgewichte) per Jahr	Ungefährer Kraftbedarf					
		am Radumfange			ab Turbinenwellen der Kraftwerke		
		Arbeit Millionen PSh per Jahr	**Leistung** in PS		**Arbeit** Millionen PSh per Jahr	**Leistung** in PS	
			mittlere	maximale		mittlere	maximale
I	3 000	136	15 500	54 000	272	31 000	98 000
II	3 600	162	18 500	65 000	324	37 000	118 000
III	3 600	162	18 500	65 000	324	37 000	118 000
IV	2 000	90	10 250	36 000	180	20 500	65 000
V	2 000	90	10 250	36 000	180	20 500	65 000
Insgesamt	14 200	640	73 000	256 000	1280	146 000	464 000

alle absehbare Zukunft reichlich gedeckt werden können, da die Kräfte, die in jener, in kurzer Zeit und ohne besondere Schwierigkeit aufgestellten Liste Aufnahme fanden, nur einen nicht allzu grossen Teil der wirtschaftlich ausbeutbaren Wasserkräfte der Schweiz ausmachen. Es kann nicht Aufgabe der vorliegenden Publikation sein, auf Einzelheiten bezüglich der verfügbaren Kräfte einzugehen, doch dürfte die Mitteilung des Resultates genügen, dass nach dieser Richtung der Elektrifizierung aller Schweizerbahnen gar keine Bedenken gegenüberstehen.

Buchdruckerei Berichthaus - Zürich.

3 0112 073215888